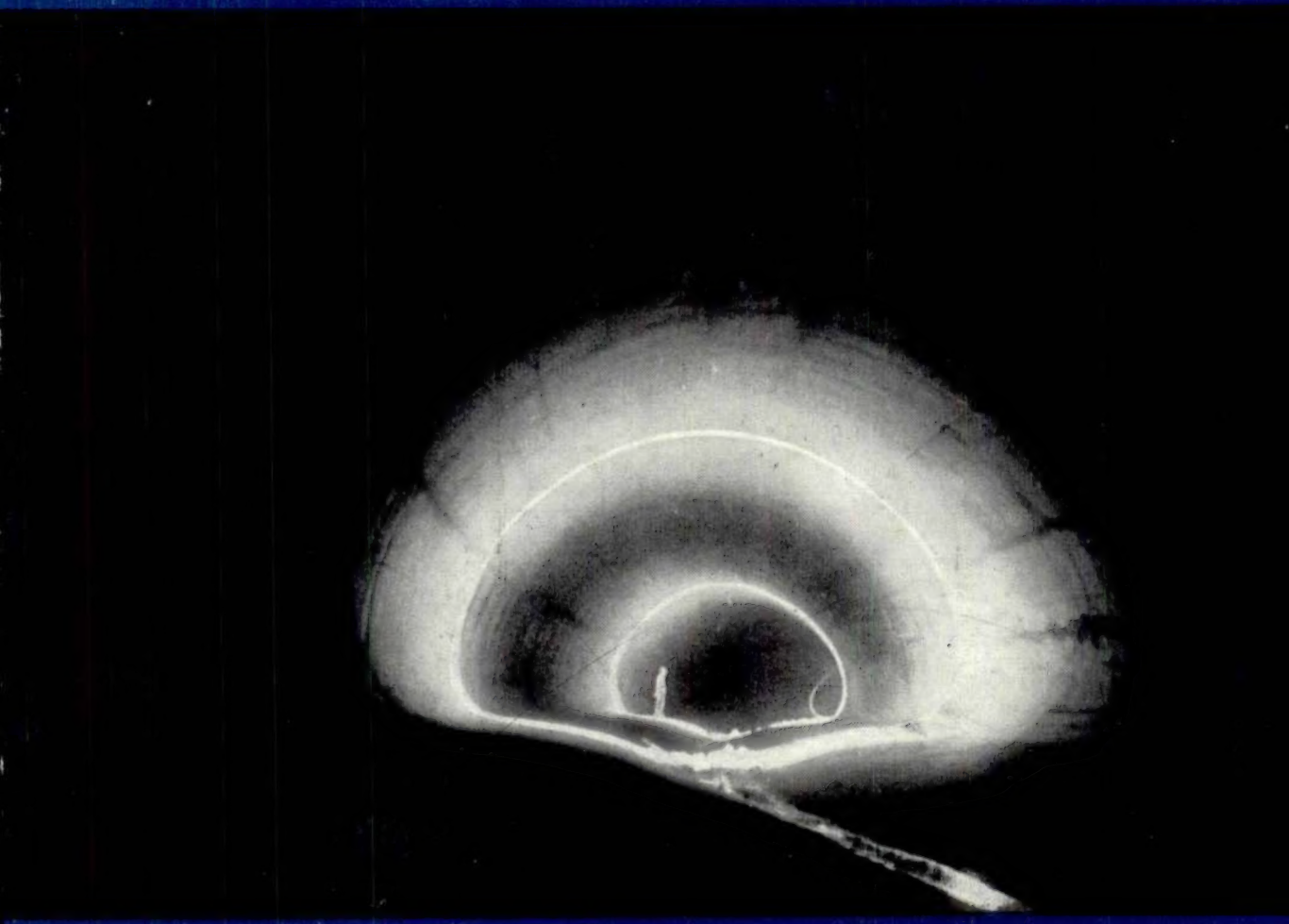
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 172-Março-1947

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

União Eléctrica Portuguesa

S. A. R. L.

SEDE
Rua Duque de Loulé, 240 — Pôrto
Telef. 2828 — 2829 — 2830 — Est. 90

DELEGAÇÃO
R. António Maria Cardoso, 13, 2.º-Lisboa
Telefones 27232 — 27233 — Est. 365

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

A **União Eléctrica Portuguesa** distribui e vende electricidade nos **distritos** de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU LEIRIA e de SETÚBAL, pela mais extensa rêde de alta-tensão em Portugal (mais de 1.200 kms), levando fôrça motriz às FÁBRICAS e luz a CIDADES, VILAS, ALDEIAS e LUGARES

A **U. E. P.** facilita a electrificação de Fábricas e oferece as maiores vantagens nas suas tarifas

Consultar a U. E. P. e consumir a sua energia é proveitoso negócio

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

NÚMERO
172
Março — 1947

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
FERNANDO MANZANARES ABECASIS

ADMINISTRADOR
FERNANDO JÁCOME DE CASTRO

BIBLIOTECÁRIO
JOSÉ TELES

SECRETÁRIO
HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES

REDACTOR
JOSÉ QUINTINO ROGADO

NÚMERO AVULSO 7$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	21$00	40$00	75$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	45$00	80$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — C. M. L. — Canalização da Ribeira de Alcântara — Aspecto interior.

		Págs.
Notas histórico-pedagógicas sobre o Instituto Superior Técnico	Por Alfredo Bensaude	233
Transporte de líquidos	Eng.º Luís A. de Almeida Alves	239
Algumas causas químicas e físicas da corrosão do ferro e dos metais ferrosos	Pelo Dr. Arthur de Sousa	261
Vulcanização de pneus	Por José Telles	266
Mutador em rádio-emissão	Por Fernando Franco Feijóo	279
Biblioteca		299

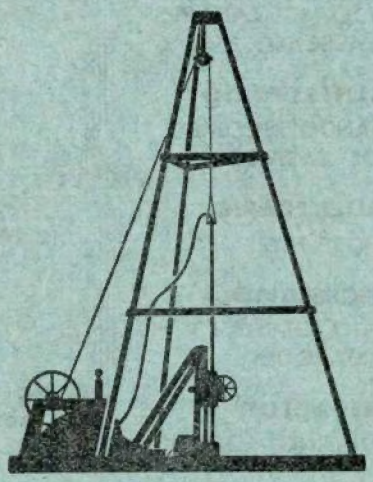
OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Sondages. Etanchements. Consolidations "Procédés Ródio"

Sondagens geológicas
Estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geofísico
Consolidação e impermeabilização de terrenos e alvenarias por meio de injecções de cimento, produtos químicos, emulsão betuminosa Shellperm, etc.
Estacas de beton armado, sistema **Ródio** sem fazer trepidar o solo
Rebocos comprimidos por «cement gun»
Fundações em terrenos difíceis por congelação artificial, ou baixando o nível da água friática.

Sociedade Anónima com séde em PARIS

As melhores referências no país e no estrangeiro



Engenheiro delegado para Portugal

Walter Weyermann

P. do Município, 32-2.º—LISBOA Tel. 2 8685

CARROS INDUSTRIAIS

MOTORES MARÍTIMOS

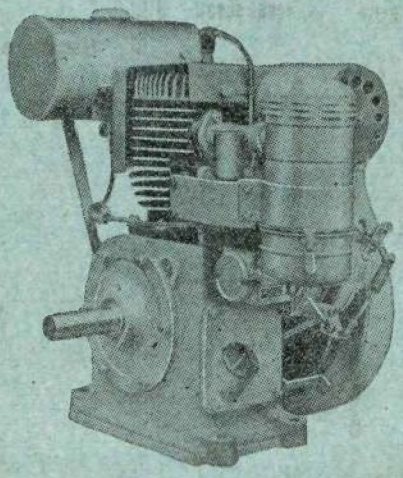
Douglas

GRUPOS GERADORES

MOTORES INDUSTRIAIS A GASOLINA E GASOLINA/PETRÓLEO

Série 1 cilindro

B.H.P.	R.P.M.
2 1/2	1800
4 1/2-5	1800
6	1800
7	1800



Em Armazém para entrega imediata

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS PARA PORTUGAL

H. M. F. HATHERLY, L.DA—Rua do Comércio, 8—Tel. 22001

TÉCNICA

FERNANDO MANZANARES ABECASIS

DIRECTOR

ANO XXII - N.º 172 MARÇO 1947

NOTAS HISTÓRICO-PEDAGÓGICAS SOBRE O INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

POR ALFREDO BENSAUDE

Organizador do mesmo Instituto e seu Director desde 1911 a 1920

(Continuação) C. D. 37

TRABALHOS PRÁTICOS DE APLICAÇÃO E DE LABORATÓRIOS

«Sans une connaissance exacte des propriétés visibles e tangibles des objets nos conceptions doivent être fausses, nos déductions erronées, nos opérations d'esprit stériles.»

H. Spencer.

(*Opus cit.*, p. 100).

Os resultados da organização do Instituto dependem muito essencialmente do ensino prático. Sem a sua boa organização, a frequência das aulas, por melhor regidas que estas sejam, seria diminuta.

Um dos seus efeitos é conduzir o aluno a reconhecer, por si, as lacunas existentes nos seus conhecimentos, quando procura aplicá-los pràticamente, o que o leva a completá-los pelo estudo particular ou por explicações suplementares, pedidas ao professor ou ao assistente.

Por tais exercícios adquire-se também gradualmente a intuição que permite descobrir, à primeira vista, o modo de resolver um problema que, ao inexperiente, pode parecer insolúvel.

«Preparado pela resolução de problemas, fáceis a princípio, a tensão a que se submete deixa no espírito do aluno uma impressão agradável, que lhe servirá de estimulo para tentar resolver outros mais difíceis» (Spencer).

Os trabalhos de laboratório, por seu lado, desenvolvem a destreza manual do aluno e as suas faculdades de observação; põem-no em contacto com os factos em que se baseiam as concepções teóricas; levam-no ao conhecimento prático dos processos de investigação

científica, dotando-o ainda com o senso crítico que permite avaliar o crédito que merecem as teorias, segundo o número e o rigor das observações em que se baseiam.

No espírito do aluno, o facto observado toma então o seu verdadeiro lugar, como parte do alicerce da ciência, e o seu saber deixa de ser um amálgama de coisas imperfeitamente assimiladas, para se transformar em parcela integrante da sua individualidade.

Tais trabalhos exercem igualmente uma acção educativa, pois «para que a instrução conduza à educação moral... basta achar um método que fortifique a vontade ao mesmo tempo que exercita a inteligência ([1]).

A necessidade de tais exercícios entre nós é maior do que nos países onde a educação da mocidade é mais cuidada e o ensino menos verbalista; mas justamente os antecedentes do nosso aluno tornam difícil o dar-se-lhes todo o desenvolvimento conveniente.

Para poder cumprir a sua missão neste particular, a escola tem de começar por exercer um pouco o papel de instituto de reeducação, para convencer o aluno da utilidade de tais exercícios e o habituar a eles. Dessa necessidade resulta uma perda de tempo que, em condições mais normais, se não daria.

Para facultar a todos os alunos o ensino prático experimental, foi necessário organizar laboratórios e outras instalações variadas, que, não obstante o seu bom serviço, estão longe de possuir o material necessário. Este ia-se adquirindo gradualmente até o início da guerra europeia, mas desde então não tem sido completado. Os laboratórios de máquinas, de electro-química, de rádio-química, quase não existem. Seria necessário não só completá-los, como criar ainda uma série de instalações que nos faltam por completo.

Teria sido indispensável para que o Instituto atingisse desde o início o máximo da sua eficácia, que, no momento da sua fundação, lhe tivesse sido destinada uma verba razoável para instalações e respectivo material, o que não aconteceu; e, em tais condições, claro está que o ensino prático deixa ainda muito a desejar.

Outra circunstância que dificulta igualmente a organização do ensino prático profícuo resulta indirectamente do nosso culto mais ou menos inconsciente pelo verbalismo. Aceita-se tàcitamente a ideia de que o ensino verbal constitui uma função mais elevada e mais difícil do que ensinar pràticamente como se aplicam as teorias a casos concretos, quando é justamente o contrário, na maioria dos casos, o que corresponde à verdade.

Esse critério errado conduz à tendência nociva de abandonar inteiramente ao assistente o ensino prático, falsamente tido por mais simples, reservando o professor para si, mais ou menos exclusivamente, a exposição oral.

A função do professor deveria dividir-se normalmente em duas partes de igual importância: a prelecção, em que expõe os traços gerais da ciência como um todo harmónico, nunca devendo limitar-se a um ditado ou à simples leitura de lições escritas; e os exercícios de aplicação dos métodos de investigação científica. É na segunda parte que o bom professor será geralmente insubstituível.

Poderíamos citar vários casos em que professores célebres, por qualquer razão obrigados a reduzir o seu trabalho, abandonaram aos seus assistentes o ensino teórico, reservando para si a direcção dos exercícios práticos, por considerá-los de maior responsabilidade.

Compreende-se que, numa aula muito frequentada, o professor não possa atender a todos os alunos e por isso divida com o assistente a tarefa de os conduzir nos seus exercí-

---

([1]) G. Séailles, *Papers on moral education*, comunicated to the first International Moral Education Congress, etc, ed. by Gustav Spiller, 2d ed., London 1909, p. 295.

cios. O melhor método de proceder seria reparti-los em duas turmas, por exemplo, dirigindo o professor e o assistente, separadamente, cada uma delas, durante a primeira metade do tempo destinado aos exercícios, e mudando de turmas durante a segunda, para que a todos caiba o benefício que representa, ou deve representar, a direcção imediata do professor.

Quando se trata, porém, de alunos adiantados, que já executam verdadeiros trabalhos científicos, a direcção imediata do professor é absolutamente necessária. Outros casos há em que a presença do professor é menos essencial, podendo, sem inconveniente, abandonar-se ao assistente a direcção da aula prática, e limitando-se o professor a fiscalizá-la. Assim, por exemplo, quando se trata de reduzir a gráficos os resultados de problemas prèviamente resolvidos, ou de passar a limpo estudos realizados em esboço ligeiro.

Dum modo geral *o ensino prático é tanto melhor, quanto mais demorado o contacto do aluno com o professor.*

Entre os dois processos: o de abandonar ao assistente os trabalhos práticos e o de impor sempre aos professores a sua direcção efectiva, aplicam-se no Instituto fórmulas intermediárias e diversas, segundo as necessidades especiais de cada disciplina, que, para algumas cadeiras, se podem considerar perfeitas, embora nalgumas outras ainda haja necessidade de as modificar.

*

* *

De todas as dificuldades a maior tem sido ensinar o mais depressa possível os alunos a desenhar; porque, sem essa aptidão, não se pode dar o conveniente desenvolvimento aos trabalhos práticos das cadeiras de aplicação. A dificuldade provém da grande deficiência das aptidões gráficas dos alunos ao matricularem-se no Instituto, o que torna necessário principiar o ensino pelos seus mais singelos rudimentos. Entre nós não se tem prestado atenção alguma ao ensino do desenho; nos liceus reduz-se ao mínimo o seu programa e os professores encarregados de o executar quase nunca são especializados na matéria. A maioria dos alunos, ao entrarem no Instituto, são por isso incapazes de desenhar à mão livre o mais singelo modelo; aprenderam, quando muito, a copiar de estampa, e isso mesmo, mal; fizeram alguns exercícios de desenho geométrico, útil decerto para a compreensão dalgumas figuras geométricas; mas, na sua maioria, não sabem fazer uso do T, nem do esquadro, nem do tira-linhas, nem sequer do lápis.

Toda a preparação secundária deixa quase sempre muito a desejar, em parte porque (exceptuando-se o desenho, que se não pode ensinar falando), os programas têm crescido em extensão, à custa da profundidade.

O reconhecimento da má preparação secundária dos alunos levou o Instituto a pedir a criação de exames de admissão à matrícula, sobre assuntos de matemáticas elementares, física, química e desenho, que fazem parte dos programas dos liceus, exames que começaram a fazer-se no ano lectivo de 1919-1920. Era isto necessário para limitar a frequência, que começa a ser excessiva para as dimensões do edifício da escola, tornando-se forçoso admitir apenas aqueles alunos cuja preparação lhes permite melhor aproveitamento.

A selecção à entrada da escola tem o inconveniente porém de excluir rapazes que, embora mal preparados, viriam talvez, no decorrer dos seus estudos, a desenvolver faculdades tais, que lhes permitissem equiparar-se aos que trazem melhor preparação; e, como a instrução secundária poucas vezes é boa, estes casos não são muito raros. Mas a solução adoptada, imposta pela deficiência das instalações escolares, tem a vantagem incontestável de garantir o melhor aproveitamento da energia do pessoal docente, sobretudo na

parte prática do ensino, naturalmente individual, e, por isso, melhor quando os alunos não excedem um determinado número, variável segundo as disciplinas.

No que respeita à preparação em desenho, é esta provàvelmente inferior à dos rapazes da mesma classe, de qualquer outra nacionalidade culta. Nos países adiantados, aproveita-se desde muito cedo a tendência natural da criança para desenhar, de tal modo que em breve se lhe desenvolve, não só a faculdade de desenhar, mas também um conjunto de aptidões preciosas.

«A criança não se limita a copiar um modelo; observa, compara, raciocina, exercendo, ao mesmo tempo, a vista, a mão, o espírito inventivo e o gosto» (Pestalozzi), e pode adquirir também o sentimento do colorido, pelo emprego da aguarela ou do lápis de cor.

Procura-se, em suma, fazer desabrochar nas crianças todas as faculdades latentes, as artísticas como as outras, para cada uma delas ser, quanto possível, uma criatura humana completa.

Tal ensino não tem por fim criar artistas (embora possa acordar vocações onde as houver), mas dotar o aluno com um precioso meio de expressão, de utilidade para todas as profissões e indispensável para muitas, desenvolvendo-lhe, ao mesmo tempo, a faculdade de sentir o belo na natureza e na arte, o que, só por si, representa um grande elemento de felicidade.

O abandono a que está votado o ensino de desenho e a cultura estética entre nós reflecte-se em toda a parte no nosso país. Nem todos o sentimos porque nos falta em geral essa cultura.

Assim, na cidade de Lisboa, que se tem expandido muito nos últimos anos, basta ver as construções novas para reconhecer a nossa falta de gosto.

Podendo fàcilmente ser uma das cidades mais lindas do mundo, dadas as suas condições naturais, Lisboa está condenada a tornar-se tanto menos interessante, quanto mais prosperarem os seus habitantes, que, com o beneplácito do Município, vão estragando a linda paisagem por meio de edifícios inestéticos. E o que acontece na capital reproduz-se por todo o país.

A decadência do nosso sentimento estético, principalmente depois do advento da burguesia, é quase inconcebível, dadas as nossas tradições artísticas.

Até no ponto de vista estrito da técnica, a cultura estética tem o seu valor. O estudo da forma e da proporção do mais simples artefacto é sempre um problema de estética, que, ao mais modesto operário, pode facultar o prazer intenso da criação artística e, portanto, o amor da sua profissão.

Ainda utilitàriamente, a forma mais estética é quase sempre, se não sempre, a melhor, porque o bom gosto não é mais do que «a justa conformidade que as coisas têm com a sua destinação, sem faltar-lhes o preciso nem conterem o supérfluo» [1]

O bom gosto desenvolve-se geralmente pelo racional ensino do desenho, que deveria ser ministrado desde a escola infantil, não por curiosos, mas por artistas com a necessária preparação pedagógica.

Diz-se às vezes, como para desculpar o desprezo a que, entre nós, tem sido votado o desenho técnico, que o engenheiro não necessita saber desenhar, sendo esse o mester do desenhador; eis o que a propósito dessa «errada tradição, senão propositado sofisma, destinado a encobrir uma deficiência pouco airosa», escreve o ilustre professor Sr. Vicente Ferreira: «E se a prática do autor durante dezasseis anos de exercício da profissão não bastasse para o convencer de quanto há de erróneo e *snob* naquela afirmativa, bastaria a observação do que se passa nos países de mais adiantadas indústrias: Inglaterra, América

---

[1] Joaquim Machado de Castro, *Discurso sobre a utilidade do desenho*, Lisboa, 1788, p. 17.

do Norte, Suíça, Alemanha, etc., onde o ensino do desenho e suas aplicações técnicas começa na escola primária e segue até a conclusão dos cursos, prolongando-se depois deles, pelos longos períodos de estágio nos graus inferiores da profissão» [1].

A deficientíssima preparação gráfica dos alunos, na ocasião da sua entrada no Instituto, veio alongar os cursos e obrigar a proceder-se a uma série de tentativas para se conseguir desenvolver neles a faculdade de desenhar com alguma facilidade, sem o que a missão do Instituto seria irrealizável.

Os problemas a resolver nas cadeiras de aplicação terminam quase sempre com representações gráficas. Assim, por exemplo, depois de estudado um órgão de máquina, o aluno procede à confecção dum desenho de oficina, à vista do qual o operário o possa executar. Se o aluno desenha mal e sem desembaraço, perde um tempo precioso nesse trabalho material, que poderia, doutro modo, empregar em estudos de maior utilidade. A falta de aptidão dos alunos para o desenho reduziria, pois, consideràvelmente, a extensão dos programas da maioria das cadeiras essencialmente técnicas.

Na primitiva organização dos cursos do Instituto, destinava-se apenas um ano a esse ensino. Em vista dos deficientes resultados obtidos no primeiro ano de existência da escola, logo no segundo foi o desenho desdobrado em dois cursos anuais e assim se tem conservado até o ano lectivo findo. No primeiro, os alunos exercitam-se nos processos usuais, ampliando e detalhando estampas de construção civil a lápis e a tira-linhas, adquirindo ao mesmo tempo algumas noções práticas do emprego da pedra, da madeira e do ferro na construção civil. O curso do segundo ano destina-se ao desenho de máquinas, com exercícios de esboço à mão livre, como preliminar de todo o desenho rigoroso, cópia de estampa, desenho de modelo, exercícios para facilitar a leitura do desenho, desenho de memória, mural, etc.

Para consolidar as aptidões adquiridas pelos alunos, os professores das cadeiras especiais vão aumentando as suas exigências no que respeita ao rigor e asseio dos trabalhos gráficos de aplicação, tendo o Sr. Vicente Ferreira composto o excelente livro já citado, editado pelo Instituto, para servir de guia aos trabalhos gráficos de engenharia civil.

Graças aos esforços dos professores e também às disposições muito favoráveis dos alunos, os progressos em desenho técnico têm aumentado muito sensìvelmente com cada ano que passa; e pode dizer-se que, actualmente, as suas aptidões gráficas não serão sensìvelmente inferiores às dos alunos das boas escolas estrangeiras, o que tem podido avaliar-se pelas exposições públicas anuais, por ocasião da abertura das aulas.

Fez-se porém sentir muito cedo a falta de desenho arquitectónico para os alunos de engenharia civil, pelo menos; para estes, foi necessário organizar um curso de desenho arquitectónico e uma cadeira de arquitectura e de noções de história da arte.

Referindo-se à necessidade da cultura estética para o engenheiro civil, escreve ainda o Sr. Vicente Ferreira: «Este assunto, a nosso ver, tem sido bastante descurado pelos modernos construtores de pontes, quase sempre mais preocupados com a estabilidade e o custo da construção do que com o aspecto e a elegância da obra... O predomínio do ensino matemático e técnico não tem deixado o lugar que lhe compete à cultura estética e à história da arte». Essa carência de cultura estética é particularmente sensível para os nossos engenheiros civis, por serem estes muitas vezes os encarregados de projectar e construir edifícios urbanos.

Assim se foi conseguindo corrigir gradualmente a deficiente preparação dos alunos, ministrando-lhes no Instituto um ensino de desenho que em parte deveriam ter recebido

---

[1] Vicente Ferreira, *Instruções para a execução de trabalhos gráficos de Resistência, Estabilidade e Pontes*, Lisboa, 1917, pp. 3 e 4.

nas escolas secundárias. Essa falta de preparação liceal revelou-se desde o início pelo seguinte facto: nas escolas estrangeiras de engenharia, a percentagem de eliminados é muito maior nas cadeiras complicadas de matemática do que nas de desenho, ao passo que no Instituto os eliminados em matemática e desenho se equilibram aproximadamente.

A despeito de todas as dificuldades da organização do ensino do desenho e do ensino prático das outras disciplinas, as deficiências vão-se eliminando mais ou menos pelo esforço de mestres e alunos.

(Continua)

ACABA DE APARECER:

TOPOGRAFIA GERAL

PELO ENG.º CARVALHO XEREZ

TRANSPORTE DE LÍQUIDOS

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL LUÍS A. DE ALMEIDA ALVES
Assistente do I. S. T.

(Continuação)

C. D. 532

CAPITULO IV

MOVIMENTO PERMANENTE DOS LÍQUIDOS REAIS

a) *Perda de carga*

Consideremos um líquido que se desloca numa conduta rectilínea, aberta ou fechada (fig. 15) e escolhamos o eixo Oz coincidente com a direcção do movimento.

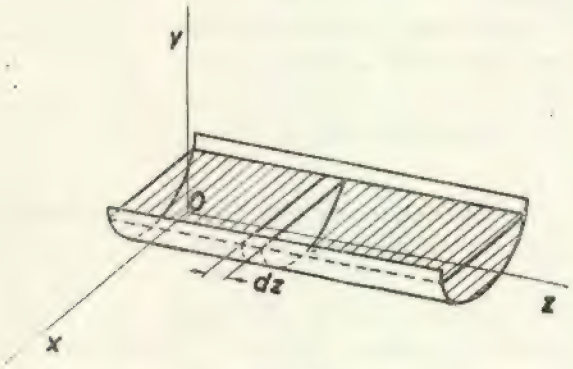


Fig. 15

Representemos por T_0 a resistência ao movimento por unidade de superfície, devida à viscosidade e por χ a parte do perímetro da secção do líquido em contacto com as paredes; a força elementar devida à viscosidade no comprimento dz será

$$dF_1 = T_0 \chi \, dz$$

Esta força dá origem a uma pressão dp, (¹) e, portanto, a força $dF_2 = -S\,dp$, em que S é a área da secção da corrente líquida, deverá ser igual a dF_1:

$$T_0 \chi \, dz = -S\,dp\,,$$

ou

$$dp = -T_0 \frac{\chi}{S} dz = -\frac{T_0 dz}{\bar{r}}$$

(¹) O sinal (—) indica que essa pressão se opõe ao movimento.

ou

$$-\frac{dp}{dz} = \frac{T_0}{\bar{r}}$$

em que $\bar{r} = \frac{S}{\chi}$ tem o nome de raio hidráulico.

A diminuição da altura piezométrica entre z e z + dz chama-se perda de carga; representando-a por d H será

$$dH = -\frac{dp}{\gamma} = \frac{T_0 dz}{\gamma \bar{r}}$$

A perda de carga por unidade de comprimento que se representa por i será

$$i = \frac{dH}{dz} = \frac{T_0}{\gamma \bar{r}} \text{ (¹)}$$

e a perda de carga total ao longo do comprimento l é

$$H = \int_0^l \frac{T_0 dz}{\gamma \bar{r}}$$

No caso vulgar em que T_0, γ e $\bar{r}$ são constantes, ter-se-á

$$H = \frac{T_0 l}{\gamma \bar{r}} = l\,i$$

Esta perda de carga corresponde a uma altura piezométrica que vai contrariar o movimento e, por isso, a equação de Bernoulli será

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} + h + \frac{1}{2g}(U_0^2 - U^2) - H\,,$$

Nos casos de prática em que $p \sim p_0$ e $U_0 \sim O$, ter-se-á

$$U = \sqrt{2g(h - H)}\,,$$

(¹) Os americanos chamam a i o gradiante hidráulico.

o que mostra que a perda de carga faz diminuir a velocidade chegando mesmo a anulá-la quando $H = h$.

b) *Cálculo da perda de carga*

Na expressão da perda de carga por unidade de comprimento

$$i = \frac{T_o}{\gamma \bar{r}},$$

só T_o é desconhecido.

É evidente que este valor deve ser função de μ, γ (e, portanto de ρ), $\bar{r}$ e U e, por isso, admite-se, em primeira aproximação, que T_o é proporcional a todas estas variáveis, elevadas a determinados expoentes

$$T_o = c\, U^{\alpha} \,.\, \rho^{\beta} \,.\, \bar{r}^{\varepsilon}\, \mu^{\delta}$$

Pelo princípio da homogeneidade, as dimensões de ambos os membros devem ser iguais e, portanto, atendendo a que T_o é uma força por unidade de superfície, fica

$$L^{-1} MT^{-2} \equiv$$

$$\equiv (LT^{-1})^{\alpha} . (ML^{-3})^{\beta} . L^{\varepsilon} . (L^{-1} MT^{-1})^{\delta},$$

e, portanto,

$$\begin{cases} \alpha - 3\beta + \varepsilon - \delta = -1 \\ \beta + \delta = 1 \\ -\alpha - \delta = -2 \end{cases}$$

sistema que, resolvido, dá

$$\begin{cases} \alpha = 2 - \delta \\ \beta = 1 - \delta \\ \varepsilon = -\delta \end{cases}$$

Portanto,

$$T_o = c\, U^2 \rho \left(\frac{\mu}{U \rho \bar{r}}\right)^{\delta}$$

O raio hidráulico, no caso de secções circulares, tem o valor

$$\bar{r} = \frac{\pi \frac{d^2}{4}}{\pi d} = \frac{d}{4}$$

e, o valor de T_o será:

$$T_o = K\, U^2 \rho \left(\frac{\mu}{U \rho d}\right)^{\delta}, \quad \text{sendo } K = c \times 4^{\delta}$$

A fracção $\frac{U \rho d}{\mu}$ que é um número sem dimensões, chama-se número de Reynolds e representa-se por N; nestas condições,

$$T_o = K\, U^2 \rho \left(\frac{1}{N}\right)^{\delta}$$

Representando $K \left(\frac{1}{N}\right)^{\delta}$ por $f(N)$, virá

$$T_o = U^2 \rho\, f(N),$$

sendo $f(N)$ determinado para cada caso particular.

Se a secção não for circular, o valor de N será calculado substituindo d por $4\bar{r}$.

c) *Determinação de f (N)*

1) *Movimento de um líquido num tubo de secção circular uniforme*

A prática mostra que, neste caso, a velocidade de qualquer ponto é paralela ao eixo do tubo e função da distância ao eixo, sendo nula junto das paredes (fig. 16).

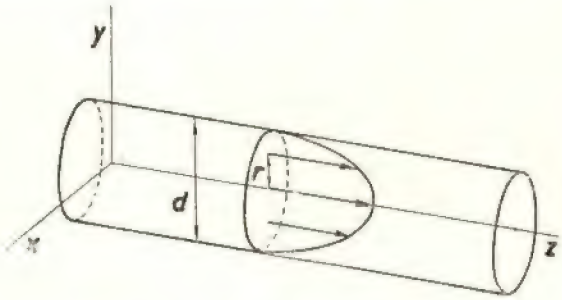


Fig. 16

Apliquemos a este movimento as equações deduzidas no capítulo I para os líquidos reais que costumam ser denominadas equações de Navier. Substituindo as derivadas totais $\frac{du}{dt}$, $\frac{dv}{dt}$, $\frac{dw}{dt}$ pelas suas expressões em função das derivadas parciais, como se

fez no caso dos fluidos perfeitos, ter-se-á:

$$\begin{cases} \rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial u}{\partial x}u+\frac{\partial u}{\partial y}v+\frac{\partial u}{\partial z}w\right)= \\ \quad =\rho X-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\Delta u \\ \rho\left(\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial v}{\partial x}v+\frac{\partial v}{\partial y}v+\frac{\partial v}{\partial z}w\right)= \\ \quad =\rho Y-\frac{\partial p}{\partial y}+\mu\Delta v \\ \rho\left(\frac{\partial w}{\partial t}+\frac{\partial w}{\partial x}u+\frac{\partial w}{\partial y}v+\frac{\partial w}{\partial z}w\right)= \\ \quad =\rho - Z\frac{\partial p}{\partial z}+\mu\Delta w \end{cases}$$

Atendendo à distribuição de velocidades deste movimento, as componentes de V são $u=o$, $v=o$, $w=w(r)$, pelo que $\Delta u=\Delta v=o$ e $\frac{\partial w}{\partial z}=o$; por outro lado, se o movimento é permanente, será

$$\frac{\partial u}{\partial t}=o\,,\ \frac{\partial v}{\partial t}=o\,,\ \frac{\partial w}{\partial t}=o$$

e, portanto, as equações de Navier tomam o aspecto seguinte:

$$\begin{cases} \rho X-\frac{\partial p}{\partial x}=o \\ \rho Y-\frac{\partial p}{\partial y}=o \\ \rho Z-\frac{\partial p}{\partial z}+\mu\Delta w=o \end{cases}$$

Destas três equações, só a última tem interesse para o estudo do movimento. Como w é só função de r, convém fazer o estudo em coordenadas semi-polares [1].

$$\begin{cases} x=r\cos\theta \\ y=r\,\mathrm{sen}\,\theta \\ z=z \end{cases} \quad \text{ou} \quad \begin{cases} r=\sqrt{x^2+y^2}\,, \\ \theta=\mathrm{arctg}\,\frac{y}{x} \\ z=z \end{cases}$$

(1) Matemáticas Gerais. — Sistemas de coordenadas.

Teremos

$$\Delta w=\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}$$

Mas

$$\frac{\partial w}{\partial x}=\frac{\partial w}{\partial r}\frac{\partial r}{\partial x}+\frac{\partial w}{\partial \theta}\frac{\partial \theta}{\partial x}$$

Como w é só função de r será $\frac{\partial w}{\partial \theta}=0$ e, portanto

$$\frac{\partial w}{\partial x}=\frac{dw}{dr}\frac{x}{r}$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{dw}{dr}\cdot\frac{x}{r}\right)=$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{dw}{dr}\right)\cdot\frac{x}{r}+\frac{dw}{dr}\cdot\frac{r^2-x^2}{r^3}=$$

$$=\frac{d}{dr}\left(\frac{dw}{dr}\right)\frac{\partial r}{\partial x}\cdot\frac{x}{r}+\frac{dw}{dr}\frac{r^2-x^2}{r^3}=$$

$$=\frac{d^2w}{dr^2}\cdot\frac{x^2}{r^2}+\frac{dw}{dr}\frac{r^2-x^2}{r^3}$$

Anàlogamente

$$\frac{\partial^2 w}{dy^2}=\frac{d^2w}{dr^2}\cdot\frac{y^2}{r^2}+\frac{dw}{dr}\frac{r^2-y^2}{r^3}$$

E, finalmente,

$$\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}=0$$

Ficará, portanto,

$$\Delta w=\frac{d^2w}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dw}{dr}=\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dw}{dr}\right)$$

Substituindo, na 3.ª equação de Navier e como p é só função de z,

$$\mu\frac{d}{dr}\left(r\frac{dw}{dr}\right)=-\left(\rho Z-\frac{dp}{dz}\right)r$$

Como $\frac{dp}{dz}$ é independente de r, será

$$\int d\left(r\frac{dw}{dr}\right)=-\frac{1}{\mu}\int\left(\rho Z-\frac{dp}{dz}\right)r\,dr$$

ou

$$r\frac{dw}{dr}=-\frac{1}{2\mu}\left(\rho Z-\frac{dp}{dz}\right)r^2+A$$

Integrando esta equação

$$\int dw = -\frac{1}{2\mu}\int\left(\rho Z - \frac{dp}{dz}\right) r\,dr + \int \frac{A}{r}\,dr$$

$$w = -\frac{1}{4\mu}\left(\rho Z - \frac{dp}{dz}\right) r^2 + A \log r + B$$

Para $r = 0$, w não infinito e, por isso, terá de ser $A = 0$; para $r = \frac{d}{2}$, $w = 0$, e portanto

$$B = \frac{1}{4\mu}\left(\rho Z - \frac{dp}{dz}\right)\frac{d^2}{4}$$

Finalmente

$$w = \frac{1}{4\mu}\left(\rho Z - \frac{dp}{dz}\right)\left(\frac{d^2}{4} - r^2\right)$$

O caudal será

$$Q = \int w\,dS = \int_0^{\frac{d}{2}} w \,.\, 2\pi\, r\,dr =$$

$$= \frac{2\pi}{4\mu}\left(\rho Z - \frac{dp}{dz}\right)\int_0^{\frac{d}{2}}\left(\frac{d^2}{4} r - r^3\right) dr =$$

$$= \frac{\pi d^4}{128\mu}\left(\rho Z - \frac{dp}{dz}\right)$$

A velocidade média, será, por consequência

$$\text{mod } V = U = \frac{\frac{\pi d^4}{128\mu}\left(\rho Z - \frac{dp}{dz}\right)}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{d^2}{32\mu}\left(\rho Z - \frac{dp}{dz}\right)$$

Mas, como se viu,

$$-\frac{dp}{dz} = \frac{T_o}{r} = \frac{4\,T_o}{d}$$

Portanto

$$U = \frac{d^2}{32\,\mu}\left(\rho Z + \frac{4\,T_o}{d}\right),$$

de onde se tira T_o:

$$T_o = \frac{8\mu}{d}\left(U - \frac{d^2}{32\,\mu}\rho Z\right)$$

Esta expressão mostra que a resistência ao movimento, por unidade de superfície depende da velocidade U e da força aplicada ρZ. Geralmente, Z é a componente do peso segundo o eixo Oz e, portanto positiva; por isso T_o é máximo quando $Z = 0$, ou seja quando o tubo é horizontal. Ora, na maioria dos casos, as condutas são horizontais ou pouco inclinadas, exceptuando os troços verticais e, por consequência, no cálculo de T_o nunca se considera o termo em ρZ, e fica

$$T_o = \frac{8\mu}{d} U$$

Comparando com a expressão geral de T_o será

$$\frac{8\mu}{d} U = U^2 \rho\, f(N)$$

ou

$$f(N) = \frac{8\mu}{U\rho d} = \frac{8}{N}$$

A perda de carga por metro será

$$i = \frac{8\mu U}{d \,.\, \gamma \,.\, \frac{d}{4}} = \frac{32\mu U}{\gamma d^2} = \frac{16\mu}{U\rho d} \,.\, \frac{4}{d} \,.\, \frac{U^2}{2g} =$$

$$= \frac{16}{N} \,.\, \frac{4}{d} \,.\, \frac{U^2}{2g}$$

Embora o estabelecimento desta expressão fosse feito com bastante generalidade, poucos são os casos da prática em que pode ser aplicada, como vamos ver.

2) *Estabilidade e instabilidade do movimento*

A experiência mostra que, se no movimento do líquido se produzir qualquer perturbação, dum modo geral, as características do movimento desaparecem e as partículas líquidas, em vez de se moverem de acordo com a forma de distribuição de velocidades que se indicou, passam a ter movimentos desordenados e, portanto, todo o raciocínio que se fez deixa de ser válido.

O ponto fundamental deste problema consiste em determinar quais as condições em que o raciocínio é válido.

Verifica-se, na prática, que quanto maior for a viscosidade cinemática do líquido, ν, maior será a estabilidade do movimento e, por isso, pretendeu determinar-se qual a velocidade máxima a que o movimento poderia ser estável (velocidade crítica), relacionando-a com ν, isto é

$$U_{crit.} = \varphi(\nu) = \varphi\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$$

Considerando, em primeira aproximação que, $U_{crit.}$ é proporcional a ν, obteve-se

$$U_{crit.} = K_1 \frac{\mu}{\rho} ,$$

ou

$$K_1 = \frac{U_{crit.}\,\rho}{\mu} \left[\frac{L\,T^{-1} \,.\, M\,L^{-3}}{L^{-1}\,M\,T^{-1}} = L^{-1}\right]$$

Este resultado mostra que K tem as dimensões do inverso de um comprimento. Tomando, para esse comprimento, o diâmetro do tubo será

$$K_1 = \frac{K_2}{d}$$

e, portanto

$$U_{crit.} = \frac{K_2\,\mu}{\rho\,d} \quad \text{ou} \quad K_2 = \frac{U_{crit.}\,\rho\,d}{\mu}$$

Este valor de K_2 é precisamente o número de Reynolds N já referido atrás. Verificou-se experimentalmente que o movimento é estável ou instável conforme $N = \frac{U\rho d}{\mu}$ for menor ou maior que 2.500; no primeiro caso, o movimento diz-se viscoso e, no segundo, turbulento e sendo tanto mais turbulento quanto maior fôr N (1)

(1) Para fazer uma ideia da ordem de grandeza do valor de N, considere-se por exemplo, um tubo de 3 polegadas de diâmetro (7,62 cm) em que corre água a 15° com uma velocidade de 0,8 m/seg. A esta temperatura $\mu = 1{,}15$ centipoise $= 0{,}0115$ poises.

Portanto

$$N = \frac{80 \times 1 \times 7{,}62}{0{,}0115} \left[\frac{\text{cm seg}^{-1} \times \text{gr cm}^{-3} \times \text{cm}}{\text{cm}^{1} - \text{gr seg}^{-1}}\right] = 53.000$$

Sendo assim, para $N < 2.500$ pode empregar-se a expressão deduzida; para $N > 2.500$, procura-se outra forma de $f(N)$

3) *Valores de $f(N)$*

I — *Valor de Blasius*

$$f(N) = 0{,}0395\ N^{-0{,}25}$$

que é válida até

$$N = 100.000 \quad (1)$$

II — *Valor de Nikuradse*

$$f(N) = 0{,}0004 + \frac{0{,}0277}{N^{0{,}237}} ,$$

válida até

$$N = 25.000.000 \quad (2)$$

Mostra a experiência que estes valores só são válidos para tubos lisos, porque, se a parede é rugosa, é preciso entrar com a rugosidade relativa $\frac{e}{R}$ em que e representa a altura média das rugosidades e R o raio do tubo. A consideração da rugosidade complica o problema e conduz a fórmulas complexas que não têm interesse prático.

Na prática, porém, acontece que, para valores muito grandes de N ($N > .\ 10^8$ aproximadamente), a expressão

$$T_o = U^2 \rho f(N) = K\,U^2 \rho \left(\frac{1}{N}\right)^{\delta}$$

(1) A aplicação desta fórmula ao exemplo anterior dá

$$f(N) = \frac{0{,}0395}{\sqrt[4]{53.000}} = \frac{0{,}0305}{15{,}2} = 0{,}0026$$

e

$$T_o = U^2 \rho f(N) = U^2 \frac{\gamma}{g} f(N) = 0{,}64 \times \frac{1000}{9{,}8} \times$$

$$\times 0{,}0026 \left[\frac{\text{m}^2\,\text{seg}^{-2} \,.\, \text{Kg m}^{-3}}{\text{m seg}^{-2}}\right] = 0{,}17\ \text{kg/m}^2$$

Portanto

$$i = \frac{T_o}{\gamma r} = \frac{4\,T_o}{\gamma d} = \frac{0{,}68}{1000 \times 0{,}0762} \left[\frac{\text{Kg m}^{-2}}{\text{Kg m}^{-3} \times \text{m}}\right] =$$

$= 0{,}009$, isto é, a perda de carga é de 0,009 metros por metro.

(2) Aplicando-a ao exemplo anterior, tem-se:

$$f(N) = 0{,}0004 + \frac{0{,}0277}{53.000^{0{,}237}} = 0{,}0004 + \frac{0{,}0277}{12{,}8} =$$

$$= 0{,}0004 + 0{,}0022 = 0{,}0026 \text{ e portanto } T_o =$$

$$= 0{,}17\ \text{seg/m}^2 \text{ e } i = 0{,}009.$$

é válida com $\delta = o$, isto é

$$T_o = K U^2 \rho \ ,$$

e portanto T_o é independente de N.

Nestas condições,

$$i = \frac{T_o}{\gamma \bar{r}} = \frac{K U^2 \rho}{\gamma \bar{r}} = \frac{K U^2}{g \bar{r}} = \frac{1}{C^2} \frac{U^2}{\bar{r}}$$

em que

$$C^2 = \frac{g}{K}$$

$$\text{Portanto, } U = C \sqrt{\bar{r} \, . \, i} \ ,$$

expressão que tem o nome de fórmula de Chézy-Tadini, sendo C um coeficiente de dimensões $\left[m^{\frac{1}{2}} seg^{-1} \right]$.

Esta expressão mostra que, quando o número de Reynolds é muito elevado, a perda de carga é independente da viscosidade do líquido e, por isso, muitos livros de hidráulica, especialmente antigos, fazem o estudo das perdas de carga sem fazer intervir N (1).

O valor do coeficiente C é variável consoante as condições do movimento e das dimensões das condutas e, por isso, as diferentes fórmulas de aplicação prática são obtidas dando diferentes valores a C.

d) *Fórmulas de aplicação prática*

1) *Fórmula de Dupuit*

Obtém-se fazendo $C = 50{,}6$ ou seja

$$K = \frac{g}{C^2} = 0{,}000395 \, g = 0{,}00384$$

Logo

$$i = \frac{0{,}00384}{g} \frac{U^2}{\bar{r}} = \frac{0{,}00768}{\bar{r}} \cdot \frac{U^2}{2 g}$$

(1) Consultando, por exemplo, o «Cours de Mécanique» de A. Bazard, 3.º volume, edição de 1918, (pág. 112), vê-se que a perda de carga é de forma $i = \frac{1}{\bar{r}} \varphi (U)$. Para condutas circulares $\bar{r} = \frac{d}{4}$ e portanto $\frac{1}{4} d i = \varphi (U)$

Para tubos circulares cheios, será

$$\bar{r} = \frac{d}{4}$$

e

$$U^2 = \frac{Q^2}{\left(\frac{\pi d^2}{4} \right)^2} = \frac{16 Q^2}{\pi^2 d^4} \ , \text{ sendo Q o caudal.}$$

Portanto,

$$\frac{U^2}{\bar{r}} = \frac{64 Q^2}{\pi^2 d^5} \ ,$$

e

$$i = \frac{0{,}245}{\pi^2 g} \frac{Q^2}{d^5} \sim \frac{1}{400} \frac{Q^2}{d^5}$$

que é a fórmula de Dupuit válida para diâmetros compreendidos entre $0^m{,}15$ e $0^m{,}50$ (1).

2 — *Fórmula de Darcy*

A fórmula de Dupuit só é rigorosamente válida quando o movimento é fortemente turbilhonar ($N > 10^8$) e, por isso, Darcy modificou-a, mantendo-lhe a forma, mas substituindo o coeficiente constante 0,00768 por um coeficiente variável f, que é função de N (2) e tem o nome de coeficiente de atrito:

$$i = \frac{f}{\bar{r}} \cdot \frac{U^2}{2 g} = \frac{4 f}{d} \cdot \frac{U^2}{2 g} = \frac{32 f}{\pi^2 g} \frac{Q^2}{d^5} =$$

$$= \beta \frac{Q^2}{d^5} \ (3)$$

(1) Aplicando esta fórmula ao exemplo anterior, ter-se-á:

$$i = \frac{0{,}00768}{\frac{0{,}0762}{4}} \cdot \frac{0{,}64}{2 \times 9{,}8} = 0{,}0130$$

Este valor não concorda com os anteriores porque o movimento não é fortemente turbilhonar ($N = 53.000$) e o diâmetro é inferior a $0^m{,}15$.

(2) Os livros de hidráulica, como em geral, só referem ao movimento da água, consideram o valor de β só função do diâmetro do tubo, isto é $\beta = a + \frac{b}{d}$.

As constantes a e b dependem da qualidade dos tubos e do seu estado; assim, para tubos de ferro ou aço novos $\beta = 0{,}00164 + \frac{0{,}000042}{d}$.

(3) Esta fórmula costuma ser dada em Química Tecnológica.

Como vimos, no caso do movimento viscoso

$$i = \frac{16\,\mu}{U\,\rho\,d} \cdot \frac{4}{d} \cdot \frac{U^2}{2g}$$

e, portanto,

$$f = \frac{16\,\mu}{U\,\rho\,d} = \frac{16}{N}$$

Para o movimento turbilhonar, o valor de f que é independente do sistema de unidades porque i e $\frac{Q^2}{g\,d^5}$ são números, em geral, é determinado gràficamente. (Ver, por exemplo, «Chemical Engineers' Handbook», de J. Perry e W. S. Calcott, 1.ª edição, pág. 725, «Piping Handbook», de Sabin Crocker, 4.ª edição, pág. 112, «Elements of Chemical Engineering», de Badger and Mc Cabe, 2.ª edição, pág. 37).

No caso de não se ter possibilidade de consultar esses gráficos, f pode ser determinado pelas seguintes expressões:

Para tubos de ferro ou aço novo:

$$f = 0{,}0035 + 0{,}264 \left(\frac{1}{N}\right)^{0{,}42}$$

Para tubos de chumbo, cobre, latão e vidro:

$$f = 0{,}00140 + 0{,}125 \left(\frac{1}{N}\right)^{0{,}32}$$

Quando N tende para infinito, $\left(\frac{1}{N}\right)^{0{,}42}$ e $\left(\frac{1}{N}\right)^{0{,}32}$ tendem para O e portanto os valores limites de f serão:

Para tubos de ferro ou aço novo:

$$f = 0{,}0035$$

Para tubos de chumbo, cobre, latão e vidro:

$$f = 0{,}00140\ .$$

O coeficiente de atrito, para tubos de ferro e aço não novos, obtém-se a partir do valor de f para tubos de ferro e aço novo multiplicando-o por um coeficiente, K_3 chamado coeficiente de rugosidade cujos valores são dados no quadro I.

QUADRO I

Material do tubo	K_3
Ferro velho, aço novo com rebites	1,4
Tubo vidrado, aço velho	1,6
Aço velho com rebites	2,0
Ferro muito rugoso	2,5

Esta expressão da perda de carga considerando β como função de f é que conduz a resultados mais exactos e, por isso *deverá ser, em geral, a que se utiliza nos problemas de aplicação no cálculo de condutas para as instalações industriais* (1).

A título informativo, apresentamos, também, duas fórmulas que se aplicam especialmente a canais.

3) *Fórmulas de Bazin e de Kutter* (2)

Obtêm-se fazendo

$$C = \frac{a}{c + \sqrt{r}} \sqrt{r}$$

As fórmulas de Bazin de de Kutter diferem nos coeficicientes *a* e *c*.

---

(1) A aplicação da fórmula de Darcy, ao exemplo que temos considerado dá:

Como $N = 53.000$, será, para tubos de ferro novos,

$$f = 0{,}0035 + 0{,}264 \times \frac{1}{53.000^{\,0{,}42}} = 0{,}0035 + \frac{0{,}264}{96} = 0{,}00625$$

Portanto

$$\beta = \frac{32 \times 0{,}00625}{\pi^2 \times 9{,}8} = 0{,}00218 \quad \text{e} \quad i = 0{,}0117$$

Para tubos de chumbo, cobre, latão ou vidro,

$$f = 0{,}00140 + \frac{0{,}125}{53.000^{\,0{,}32}} = 0{,}00140 + \frac{0{,}125}{32} = 0{,}00530$$

Logo, $\beta = 0{,}00184$ e $i = 0{,}0099$

(2) Estas fórmulas só são rigorosamente aplicáveis aos movimentos fortemente turbilhonares.

a) Bazin:

$$C = \frac{87}{\gamma + \sqrt{r}} \sqrt{r}$$

b) Kutter:

$$c = \frac{100}{m + \sqrt{r}} \sqrt{r}$$

Os valores de γ e m dependem da qualidade das paredes (ver quadro II) [1]

QUADRO II

Material das paredes	γ	m
Chapa metálica, cimento muito polido, madeira aplainada	0,06	0,10
Aço alcatroado, cimento polido . . .	0,10	0,28
Ferro novo, chapa com rebites pouco salientes	0,16	0,20
Betão e ferro usado	0,23	0,25
Ferro muito envelhecido, alvenaria regular	0,30 a 0,45	0,30 a 0,50
Parede grosseira e chapas com rebites salientes	0,85 a 1,00	0,75 a 1,25
Terra irregular . . .	1,30	1,50

e) *Perdas de carga devidas aos acidentes das condutas*

Além da perda de carga devida à viscosidade, aparecem outras perdas de carga devidas aos acidentes das condutas (alargamentos, apertos, curvas, válvulas, etc.). As expressões dessas perdas de carga são deduzidas, em parte teòricamente e, em parte, segundo dados experimentais.

A maneira mais cómoda de tratar o problema consiste em admitir que qualquer perda de carga H devida a um acidente de uma tubagem é da forma da perda de carga obtida pela fórmula de Darcy. Ora, como vimos, $i = \frac{4f}{d}\frac{U^2}{2g}$ e, portanto, a perda de carga ao longo de um comprimento L será $iL = \frac{4fL}{d}\frac{U^2}{2g}$; mas, como H é da mesma forma, será

$$H = K\frac{U^2}{2g}.$$

Pode concluir-se, portanto, que a perda de carga num acidente de uma tubagem é equivalente à perda de carga ao longo de um certo comprimento L, tal que

$$\frac{4fL}{d} = K$$

Representando $\frac{L}{d}$ por n, será

$$K = 4fn$$

Na prática poderá ser mais cómodo determinar K ou n, como veremos.

1 — *Alargamento de secção*

Quando, ao longo de uma tubagem se produz um alargamento de secção, não haveria razão para nenhuma perda de carga se a forma do tubo acompanhasse as linhas de corrente limites (fig. 17 a).

Mas, em geral, o alargamento de secção dá-se bruscamente e, por esse facto, cria-se uma turbulência entre as linhas de corrente limites e a parede (fig. 17 b), o que dá origem a uma perda de carga H_1 cujo valor é

$$H_1 = \frac{(U_1 - U_2)^2}{2g} + \frac{1}{9}\frac{U_2^2}{2g} =$$

$$= \left[\left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 + \frac{1}{9}\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2\right]\frac{U_1^2}{2g} =$$

$$= \left[\left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right)^2 + \frac{1}{9}\right]\frac{U_2^2}{2g}$$

---

[1] A aplicação destas fórmulas ao exemplo considerado, dá, sendo $r = \frac{d}{4} = 0{,}019$ m,

a) Bazin:

$$C = \frac{87\sqrt{0{,}019}}{0{,}06 + \sqrt{0{,}019}} = \frac{87 \times 0{,}138}{0{,}198} = 60{,}8$$

Logo

$$i = \frac{U^2}{C^2 r} = \frac{0{,}64}{3670 \times 0{,}019} = 0{,}0092$$

b) Kutter:

$$C = \frac{100 \times 0{,}138}{0{,}1 + 0{,}138} = 58 \quad \text{e} \quad i = \frac{0{,}64}{3350 \times 0{,}019} = 0{,}010$$

Sendo assim, ter-se-á

$$K = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 + \frac{1}{9}\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2$$

Se se pretende determinar o comprimento recto equivalente L, ter-se-á

$$n = \frac{K}{4f}$$

e

$$L = n\, d_1 \text{ (1)}$$

em que $m = \frac{S_2}{S_3}$ (coeficiente de contracção)

O valor de K, é referido à secção S_3 e, tem o valor $K = \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2 + \frac{1}{9}$.

O valor de n será $= \frac{K}{4f}$ e $L = n\, d_3$, sendo d_3, neste caso, o diâmetro da secção menor.

Os valores de m e K variam conforme os casos:

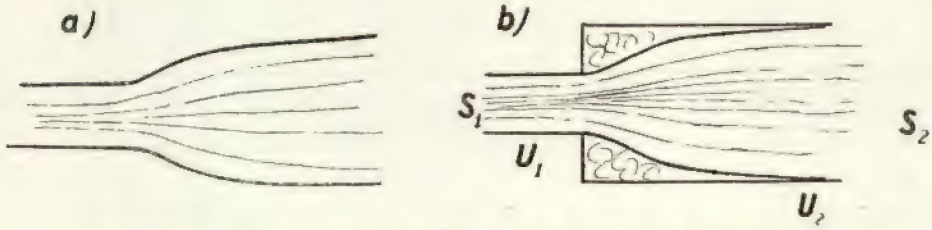


Fig. 17

2 — *Aperto de secção*

As linhas de corrente distribuem-se como se indica na fig. 18.

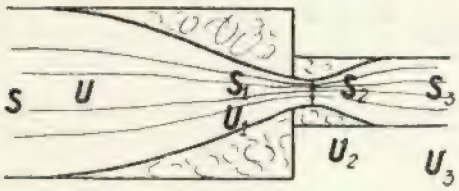


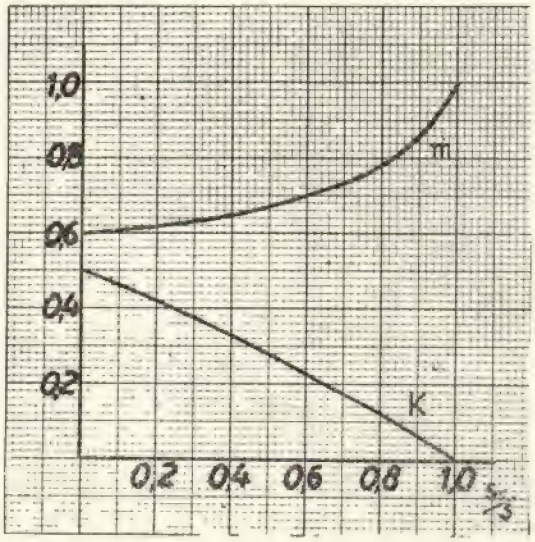
Fig. 18

Sendo S_2 a secção mínima de veia líquida, a perda da carga H_2 tem o valor

$$H_2 = \left[\left(\frac{1}{m} - 1\right)^2 + \frac{1}{9}\right] \frac{U_3^2}{2g}$$

I — Quando $S_1 = S_3$, m e K são dados no gráfico I em função de $\frac{S_1}{S}$.

GRAFICO I



II — Quando $S_1 < S_3$, os valores de m e K são dados no gráfico II em função de $\frac{S_1}{S_3}$.

No caso de $S_3 = S$, os valores de K_1 são

(1) No exemplo que temos considerado se o diâmetro do tubo passasse de 3'' para 5'' seria

$$H_1 = \frac{0{,}64}{2 \times 9{,}8}\left[\left(1 - \frac{9}{25}\right)^2 + \frac{1}{9}\left(\frac{9}{25}\right)^2\right]\left[\frac{m^2\, seg^{-2}}{m\, seg^{-2}} = m\right] =$$
$$= 0{,}0138\ m \quad e \quad K = 0{,}425$$

Tratando-se de tubos de ferro de rugosidade média $f = 0{,}0075$;

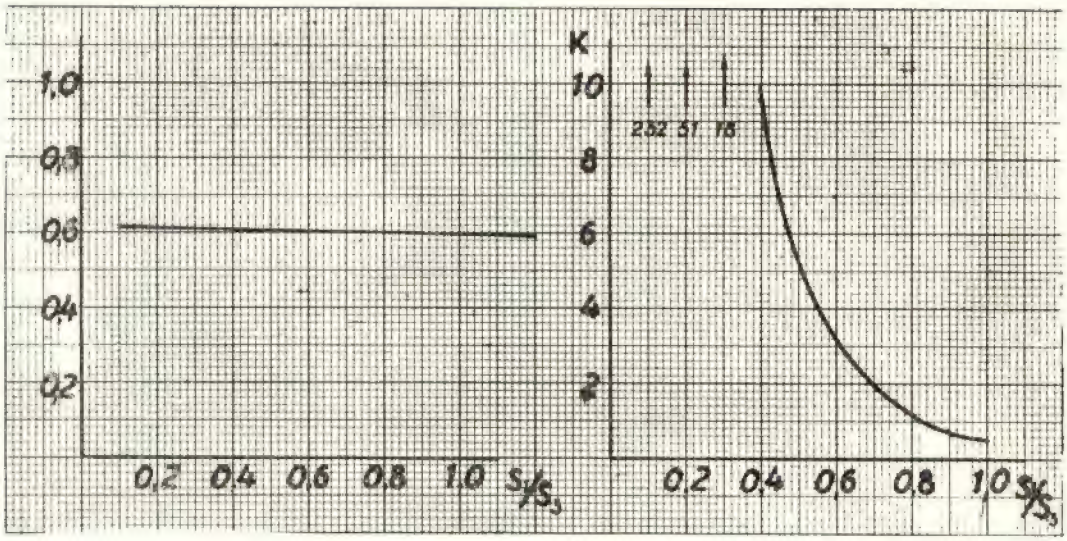
portanto

$$n = \frac{0{,}425}{0{,}030} \sim 14$$

e o comprimento equivalente é

$$L = 14 \times 0^m{,}0762 = 1^m{,}06$$

GRÁFICO II



ligeiramente inferiores como se vê no gráfico III [1]

3 — *Curvas, cotovelos, válvulas, uniões, etc.*

Nestes casos, é mais cómodo determinar n

I — *Curvas*

O valor de n é variável com a relação entre o diâmetro do tubo d e o raio médio R da curva (fig. 19) [2].

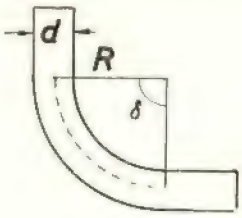
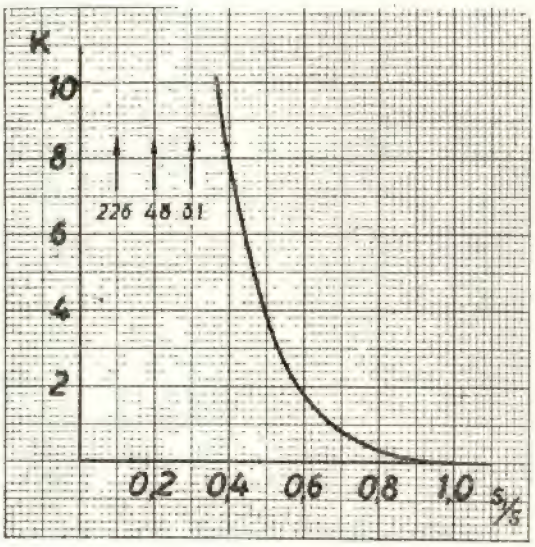


Fig. 19

Os valores de n em função de $\frac{d}{R}$ são dados no quadro III.

GRAFICO III



---

(1) Se no exemplo citado, houvesse uma contracção tal que o diâmetro passasse de 3'' a 2'', seria $S_1 = S_3$ e $\frac{S_1}{S} = \frac{4}{9} = 0{,}445$ Por outro lado $U_3 = U \frac{S}{S_1} = 0{,}80 \times \times \frac{9}{4} = 1{,}80$ m seg^{-1}. Do gráfico I tira-se que, para $\frac{S_1}{S} = 0{,}445$, $K = 0{,}3$. Portanto,

$$H_2 = 0{,}3 \times \frac{3{,}24}{2 \times 9{,}8} = 0{,}0495 \text{ m.}$$

Para tubos de rugosidade média, $f = 0{,}0075$ e, portanto, $n = \frac{0{,}3}{0{,}03} = 10$ e $L = 10 \times 0{,}0508 = 0{,}508$ m, visto que o diâmetro da secção menor é $2'' = 0{,}0508$ metros.

(2) Nos livros de hidráulica usa-se, em geral, a expressão de K dada por Weissbach:

$$K = \left[0{,}131 + 0{,}163 \left(\frac{d}{R} \right)^{3{,}5} \right]$$

QUADRO III

$\frac{d}{R}$	1	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{8}$
n	16	12	9	7	9	12

Se o ângulo da curva é δ, em vez de 90°, os valores de n são aproximadamente $\frac{\delta}{90}$ dos valores indicados (1).

II — *Cotovelos em aresta viva*

α — Com um único cotovelo (fig. 20) (2)

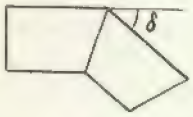


Fig. 20

Os valores de n para alguns valores de δ são dados no quadro IV

QUADRO IV

δ	45°	60°	90°
n	15	30	60

Para valores de δ diferentes, n determina-se, aproximadamente, por interpolação ou extrapolação (3).

(1) No exemplo que temos considerado, se houver uma curva com um raio R = 20 cm, será $\frac{d}{R} = \frac{0{,}0762}{0{,}20} = 0{,}38$ ou seja um valor intermédio entre $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{4}$. Pode tomar-se, portanto, n=8 que dá $L = 8 \times 0{,}0762 = 0{,}61$ m; mas por outro lado, se se tratar de um tubo de ferro novo, já vimos que $f = 0{,}00625$.

Portanto,

$$K = 4 \times 0{,}00625 \times 8 = 0{,}2 \text{ e } H_3 = 0{,}2 \times \frac{0{,}64}{19{,}6} = 0{,}0065 \text{ metros.}$$

(2) Nos livros de hidráulica é costume usar a fórmula de Weissbach, para K:

$$K = 1{,}95 \operatorname{sen}^2 \frac{\delta}{2} + 2 \operatorname{sen}^4 \frac{\delta}{2}$$

(3) Se no exemplo considerado houver um cotovelo a 50°, será $n \sim 20$ e $L = 20 \times 0{,}0762 = 1{,}524$ m. Logo $K = 4 \times 0{,}00625 \times 20 = 0{,}5$ e $H_3 = 0{,}0163$ metros.

β — Com 2 e 3 cotovelos (fig. 21).

Para o caso a) tem-se n = 20 e para o caso b) n = 15.

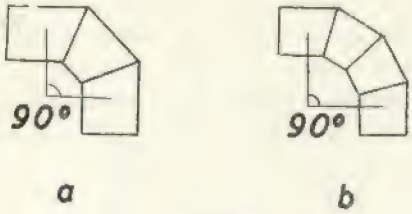


Fig. 21

III — *Válvulas*

O valor de n é variável com os tipos de válvulas.

α — Válvula de comporta (Gate Valve)

É constituída por um prato plano que se move na direcção normal do movimento, fazendo variar a secção de passagem (fig. 22) (1).

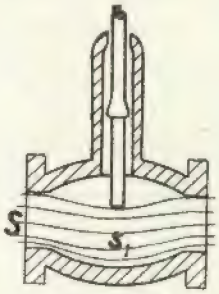


Fig 22.

É evidente que a perda de carga é variável com a relação $\frac{S_1}{S}$ (2), mas o que interessa especialmente é a perda de carga

(1) Para desenhos detalhados ver Bibliografia.

(2) Nos livros de hidráulica, aparecem os valores de K em função de $\frac{S_1}{S}$, como se mostra no quadro seguinte:

$\frac{S_1}{S}$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
K	0	0,09	0,39	0,95	2,08	4,02	8,12	18	44,5

nas condições usuais de trabalho (válvula aberta). Neste caso, pode tomar-se n = 7 [1].

β — Válvula cónica (Globe Valve)

É constituída por um corpo esférico com uma passagem circular em que está montada uma sede. A maior ou menor abertura consegue-se fazendo variar a altura de um tronco de cone cujo eixo é o mesmo da sede (fig. 23).

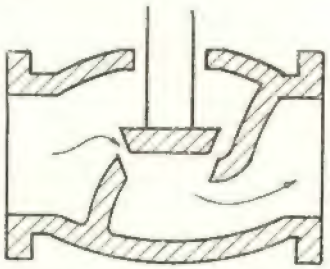


Fig. 23

Em geral este tipo de válvula não deve ser usado para tubagens superiores a 2'' porque dá origem a perdas de carga muito grandes; em regime normal de trabalho, pode tomar-se, aproximadamente, n = 330 [2].

γ — Válvula de Borboleta

É constituída por um disco plano que gira

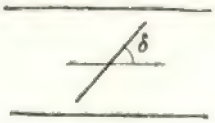


Fig. 24

em torno de um diâmetro e que faz variar a passagem consoante a posição (fig. 24) [3].

(1) No exemplo considerado, uma válvula deste tipo daria $L = 7 \times 0{,}0762 = 0^m{,}53$, $K = 4 \times 0{,}00625 \times 7 = 0{,}175$ e $H_3 = 0{,}0057$ m.

(2) No exemplo considerado, daria $L = 330 \times 0{,}0762 = 22{,}9$ m $K = 7{,}5$ e $H_3 = 0.244$ metros.

(3) Os livros de hidráulica apresentam, também os valores de K em função de δ, como se mostra no quadro seguinte:

δ	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
K	0,05	0,29	0,75	1,56	3,10	5,47	9,69	17,3	31,2

Pode tomar-se, aproximadamente, n = 15, para a válvula completamente aberta [1]

δ — Válvula de diafragma:

A vedação efectua-se por um diagrama (fig. 25).

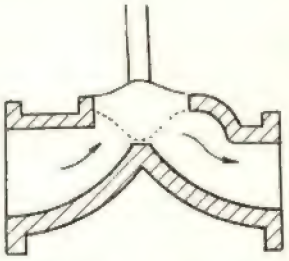


Fig. 25

Neste caso, n é inferior ao caso da válvula cónica.

ε — Válvula de ângulo (Angle Valve):

É uma válvula inserida num ângulo da canalização. Se êsse ângulo é de 90°, pode tomar-se n = 170 (fig. 26).

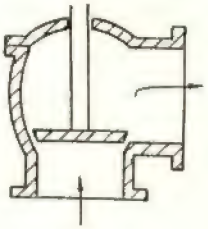


Fig. 26

φ — Válvula de retenção plana (Swing check valve)

É uma válvula destinada a evitar o retorno do líquido (fig. 27).

Pode tomar-se n = 85.

IV — *Uniões*

São peças roscadas ou soldadas, destinadas a unir tubos entre si (fig. 28).

A união pode ser entre tubos na mesma direcção, o que não dá perda de carga,

(1) No exemplo considerado, $L = 1^m{,}40$, $K = 0{,}37$ e $H_3 = 0{,}0122$ metros.

pràticamente, ou entre tubos com direcções diferentes. Os valores de n são indicados na fig. 28 (¹).

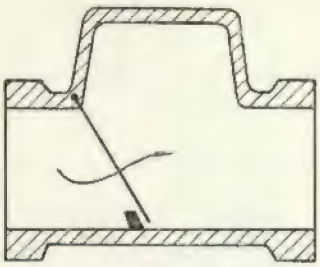


Fig. 27

4 — *Embocadura e desembocadura*

As perdas de carga à saída de um tanque ou à entrada, correspondem respectivamente a um aperto ou alargamento de secção (fig. 29), em que as áreas maiores são muito grandes em relação às menores.

I — *Embocadura*

Neste caso, a relação $m = \frac{S_2}{S_3}$ é, como já sabemos, $m = 0{,}62$ e, portanto

$$K = \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2 + \frac{1}{9} = 0{,}376 + 0{,}111 = 0{,}487 \sim 0{,}5$$

Logo a perda de carga H_4, será

$$H_4 = 0{,}5\,\frac{U^2}{2g}$$

Se se der ao tubo a forma das linhas de corrente a perda de carga é pràticamente nula, embora numa se consiga que K seja inferior a 0,06.

Uma aplicação do conhecimento das perdas de carga nas embocaduras, refere-se ao escoamento de tanques variando a velocidade de saída e o coeficiente de contração por meio de tubos adicionais curtos.

α — *Tubo adicional cilíndrico externo*

Corresponde à embocadura da fig. 29 e tem um comprimento igual a 2 ou 3 diâmetros.

Como a perda de carga é H_4, será

$$\frac{U^2}{2g} = H - H_4$$

$$\frac{U^2}{2g} = H - 0{,}5\,\frac{U^2}{2g} \quad \text{ou} \quad \frac{U^2}{2g}\,(1 + 0{,}5) = H$$

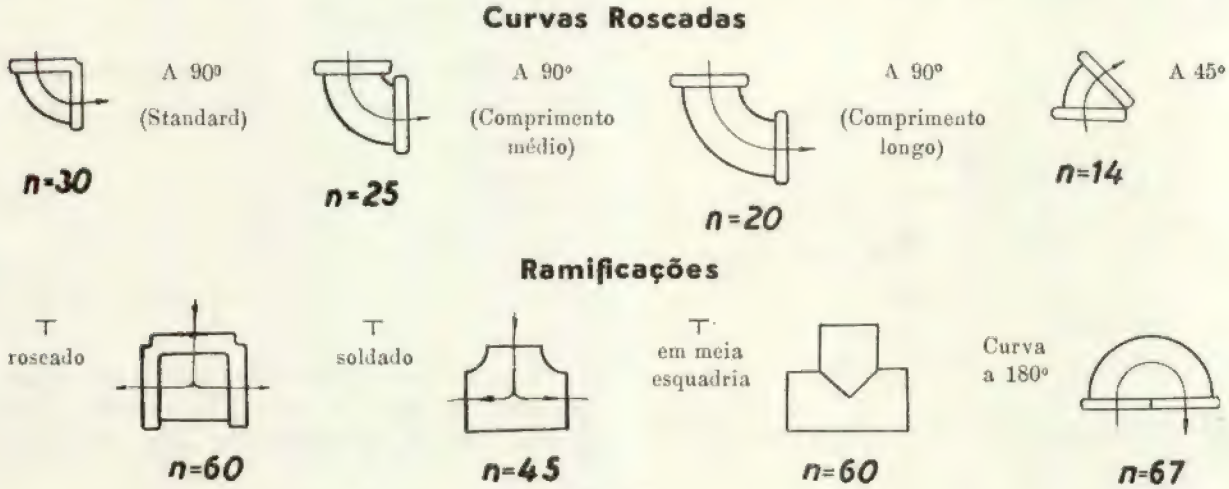


Fig. 28

Portanto

$$U = \sqrt{\frac{2g\,H}{1{,}5}} = 0{,}82\sqrt{2g\,H}$$

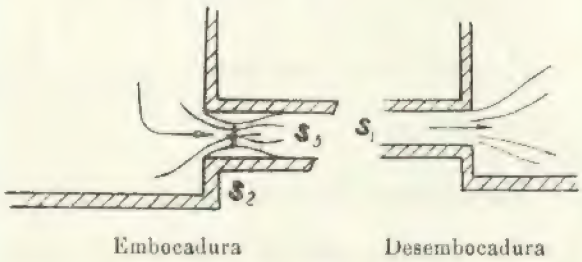


Fig. 29

O caudal será

$$Q = US_3 = 0{,}82\,S_3\sqrt{2g\,H}$$

(¹) Para desenhos de uniões, ver Bibliografia.

β — *Tubo adicional cónico divergente* (fig. 30)

Neste caso,

$$Q = 0{,}95\ S_1 \sqrt{2g\,H}$$

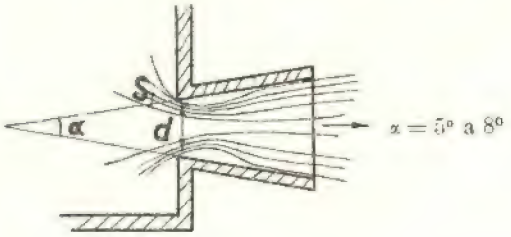


Fig. 30

γ — *Tubuladura de Venturi*

É do tipo da anterior, mas a forma do tubo é a das linhas de corrente extremas (fig. 31).

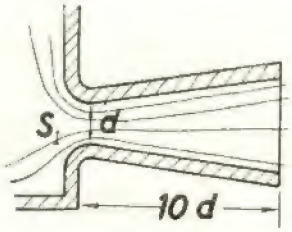


Fig. 31

Neste caso,

$$Q = 1{,}5\ S_1 \sqrt{2g\,H}$$

δ — *Tubo adicional cónico convergente* (fig. 32)

Tem-se

$$Q = 0{,}93\ S_3 \sqrt{2g\,H}$$

Um caso muito importante deste tipo é o das agulhetas para mangueiras cujos caudais variam entre

$$Q = 0{,}71\ S_3 \sqrt{2g\,H} \text{ e } 0{,}97\ S_3 \sqrt{2g\,H}\ (^1)$$

ε — *Tubo adicional reentrante* (fig. 33)

Tem-se $\quad Q = 0{,}72\ S \sqrt{2g\,H}$

φ — *Tubuladura de Borda*

É do tipo da anterior, mas o comprimento do tubo é $\frac{d}{2}$ (fig. 34).

(1) Ver, por exemplo, «Piping Handbook», de Sabin Crocker, 4.ª edição, pág. 56.

Nesse caso, a velocidade é $v = 0{,}99 \sqrt{2g\,H}$ e o coeficiente de contracção $m = 0{,}54$ (1) e, portanto

$$Q = 0{,}53\ S_2 \sqrt{2g\,H}$$

A perda de carga, neste caso, obtém-se com $n \sim 30$.

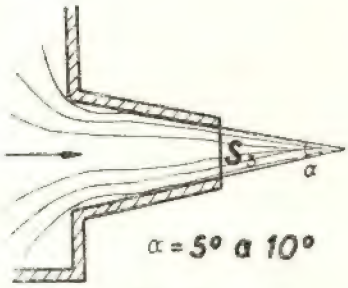


Fig. 32

II — *Desembocadura*

A perda de carga na desembocadura é dada pela expressão já utilizada para o alargamento:

$$H_4 = \frac{(U_1 - U_2)^2}{2g} + \frac{1}{9}\frac{U_2^2}{2g} = \left[\left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 + \frac{1}{9}\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2\right]\frac{U_1^2}{2g}$$

Se se quiser reduzir esta perda de carga, ter-se-á de dar ao tubo de entrada uma forma que se aproxime da das linhas de

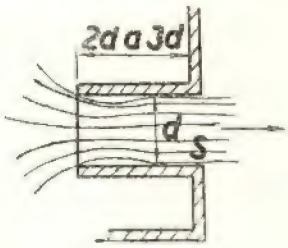


Fig. 33

corrente, o que, em geral, se faz, dando-lhe a forma cónica.

5 — *Perdas de carga diversas*

Quando aparece um acidente qualquer que dê origem a uma perda de carga que

(1) A determinação de m, pode fazer-se também, à custa das funções analíticas (Ver apêndice).

não tenha sido indicada, em geral, o problema resolve-se decompondo metòdicamente as perdas de carga noutras que sejam conhecidas e adicionando-as.

Em geral, as perdas de carga são determinadas empregando nomogramas, o que, aliás, só é aconselhável depois de se estar habituado a calculá-las analìticamente. Para esses cálculos, ver, por exemplo, «Chemical Engineering Plant Design» de Vilbrandt, «Chemical Engineers' Handbook» de J. Perry e W. S. Calcott, 1.ª edição, págs. 730 e 731, «Chemical Engineering for Production Supervision» de David E. Pierce, 1.ª edição, pág. 190.

Recomenda-se, no entanto, muito cuidado com as unidades porque todos estes livros são americanos.

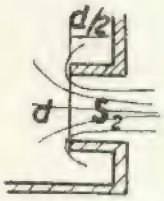


Fig. 34

f — *Projecto de uma conduta*

Quando se consulta um diagrama ou, como é vulgar dizer-se, actualmente, um «flowsheet» de um fabrico qualquer, vê-se que os caminhos percorridos pelos líquidos são indicados esquemàticamente, sendo, portanto, necessário estabelecer as dimensões das condutas.

Em vez de considerar o problema num caso geral, vamos considerar, como exemplo, a instalação indicada no diagrama da figura 35.

O ácido sulfúrico a 53° Bé do depósito destina-se a alimentar duas fábricas de superfosfato cada uma das quais consome 3 toneladas por hora e uma fábrica de sulfato de ferro que consome 4 toneladas por dia. O sulfato de ferro obtido sai do tanque de reacção por um tubo e é lançado numa calha que o distribui pelos tanques de cristalização. Pretende-se determinar as dimensões dos tubos e das calhas.

Para considerar a hipótese mais desfavorável, faz-se o cálculo supondo o depósito quási vazio e, portanto, considerando o nível do ácido ao nível do fundo do depósito.

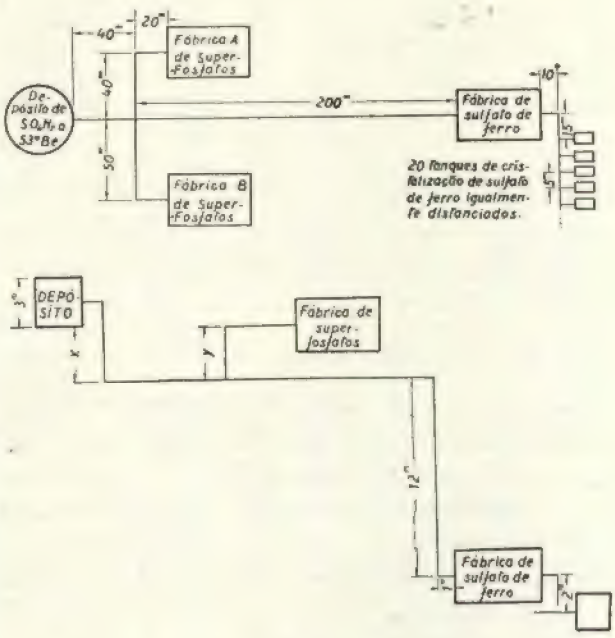


Fig. 35

O caudal total Q que sai do depósito será evidentemente igual à soma dos caudais Q_1, Q_2 e Q_3 para cada uma das fábricas

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

O consumo de cada uma das fábricas de superfosfatos é de 3.000 kg por hora ou seja de 0,835 kg por segundo; como o peso específico do ácido sulfúrico a 53° Bé é $\gamma = 1.576{,}1$ kg/m^3, o volume exigido por segundo é

$$\frac{0{,}835}{1576{,}1} \sim 0{,}53 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}^3,$$

e, portanto,

$$Q_1 = Q_2 = 0{,}53 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}^3\ \mathrm{seg}^{-1}$$

O caudal Q_3 não se distribui uniformemente porque o tanque de reacção tem de ser cheio em hora e meia e, portanto, o consumo durante essa hora e meia será de

$\frac{4.000}{5.400} = 0{,}74$ kg por segundo ou sejam cerca de 0,47 litros. Logo

$$Q_3 = 0{,}47 \times 10^{-3}\ m^3\ seg^{-1}$$

E, finalmente,

$$Q = 1{,}53 \times 10^{-3}\ m^3\ seg^{-1} \sim 1{,}5 \times 10^{-3}\ m^3\ seg^{-1}$$

Como já se viu, $U = \frac{4\,Q}{\pi\, d^2}$ e, nestas condições, a determinação de U e de d é um problema indeterminado visto só se conhecer Q. Mas, viu-se, também, que as perdas de carga são da forma $K\,\frac{U^2}{2\,g}$ e, portanto, convém que U seja pequeno, isto é, que d seja grande, o que, evidentemente vai encarecer o preço da instalação.

O problema consiste pois, em determinar os valores de U e d mais económicos, o que se consegue determinando d de modo que o custo da energia perdida devido às perdas de carga seja igual ao preço da instalação.

Sendo $\mathscr{P}_t$ o preço de um quilograma do tubo e γ_t o seu peso específico, o preço de um metro de tubo será:

$$\mathscr{P} = \pi\, d\, e\, \gamma_t\, \mathscr{P}_t \text{ (escudos/m)}$$

admitindo que a área da secção transversal do tubo é, aproximadamente, $A = \pi\, d\, e$ [1].

O valor de e é função de d e pode exprimir-se como sendo

$$e = K\, d^{\alpha}$$

em que K é um coeficiente com as dimensões $[L^{1-\alpha}]$

Portanto

$$\mathscr{P} = \pi\, K\, d^{\alpha+1}\, \gamma_t\, \mathscr{P}_t \text{ (escudos/m)}$$

A amortização e a conservação, por ano, são proporcionais ao peso do tubo e, portanto, o custo da instalação por ano, será proporcional a $\mathscr{P}$, isto é

$$\mathscr{P}_a = (a + b)\, \mathscr{P} =$$
$$= (a + b)\, \pi\, K\, d^{\alpha+1}\, \gamma_t\, \mathscr{P}_t \text{ (escudos/m)}$$

sendo a o factor referente à amortização e b o referente à conservação.

Por outro lado, sabe-se que a perda de carga é

$$i = \frac{4\,f}{d}\,\frac{U^2}{2\,g}$$

Portanto, a perda de pressão por metro será

$$\Delta p = \frac{4\,f}{d}\,\frac{U^2}{2\,g}\,\gamma \text{ (kg m}^{-2}\text{/m)}$$

A força exercida é

$$F = \frac{4\,f}{d} \cdot \frac{U^2}{2\,g} \cdot \gamma \cdot \frac{\pi\, d^2}{4} = \frac{\pi\, f\, \gamma\, U^2\, d}{2\,g} \text{ (Kg/m)}$$

A potência correspondente será

$$P = F\,U = \frac{\pi\, f\, \gamma\, U^3\, d}{2\,g} \text{ (Kg m seg}^{-1}\text{/m)} =$$
$$= \frac{9{,}8\, \pi\, f\, \gamma\, U^3\, d}{2000\,g} \text{ (KW/m)}$$

Se a tubagem trabalhar Y horas por ano, o trabalho perdido por metro será

$$\mathscr{T} = \frac{9{,}8\, \pi\, f\, \gamma\, U^3\, d\, Y}{2000\,g} \text{ (KW H / m)}$$

Sendo η o rendimento da máquina que teria de exercer este trabalho, a energia perdida por ano, será

$$E_a = \frac{9{,}8\, \pi\, f\, \gamma\, U^3\, d\, Y}{2000\,g\,\eta} \text{ (KW H / m)}$$

Representando por $\mathscr{P}_E$ o preço do KW H, o gasto por ano será

$$\mathscr{P}_a' = \frac{9{,}8\, \pi\, f\, \gamma\, U^3\, d\, Y\, \mathscr{P}_E}{2000\,g\,\eta} \text{ (escudos /m)}$$

Mas

$$U^3 = \frac{64\, Q^3}{\pi^3\, d^6}\ ;$$

---

(1) Na realidade essa área é

$$A = \frac{(d + 2\,e)^2 - d^2}{4} = \frac{\pi\,(4\,e^2 + 4\,e\,d)}{4} = \pi\,(e^2 + e\,d)\,.$$

Como e^2 é pequeno em relação a d fica $A = \pi\, e\, d$.

logo

$$\mathscr{P}_a' = \frac{628\,\pi\,f\gamma\,Q^3\,Y\,\mathscr{P}_E}{2000\,\pi^3\,\eta\,g\,d^5} = \frac{0{,}01\,\pi\,f\gamma\,Q^3\,Y\,\mathscr{P}_E}{\eta\,g\,d^5}$$

Igualando $\mathscr{P}_a'$ e $\mathscr{P}_a$, vem

$$(a+b)\,\pi\,K\,d^{\alpha+1}\,\gamma_t\,\mathscr{P}_t = \frac{0{,}01\,\pi\,f\gamma\,Q^3\,Y\,\mathscr{P}_E}{\eta\,g\,d^5}$$

Portanto,

$$d = \left[\frac{0{,}01\,f\gamma\,Q^3\,Y\,\mathscr{P}_E}{(a+b)\,K\,\eta\,g\,\gamma_t\,\mathscr{P}_t}\right]^{\frac{1}{6+\alpha}}$$

Resta só determinar K e α, visto que a, b, η, Y, $\mathscr{P}_E$, γ_t e $\mathscr{P}_t$ são variáveis conforme o tipo de trabalho e com os preços.

O valor de α pode tomar-se igual a 0,3. Quanto a K, o seu valor não é rigorosamente constante depende do sistema de unidades. No sistema métrico K varia entre 0,01 e 0,02 (expresso em $m^{0,7}$) aproximadamente, e para d em polegadas K varia entre 0,1 e 0,3 (expresso em $in^{0,7}$), aproximadamente. Por isso, pode tomar-se no sistema métrico K = 0,015 e para d em polegadas K = 0,2.

Sendo assim,

$$d = \left[\frac{0{,}01\,f\,\gamma\,Q^3\,Y\,\mathscr{P}_E}{(a+b)\,K\,\eta\,g\,\gamma_t\,\mathscr{P}_t}\right]^{0{,}159}$$

Apliquemos esta expressão ao exemplo que temos considerado, em que o transporte do ácido sulfúrico se faz por tubos de chumbo.

a) *Fábricas de superfosfato*

$\gamma = 1576{,}1\ Kg/m^3$
$Q = Q_1 = Q_2 = 0{,}53 \times 10^{-3}\ m^3\ seg^{-1}$
$Y = 24 \times 365 = 8780$ horas
$\mathscr{P}_E = 1\$50/KWH = 1{,}5$ escudos/KWH (por exemplo)
$K = 0{,}015\ m^{0,7}$
$g = 9{,}8\ m\ seg^{-2}$
$\gamma_t = 11.400\ Kg/m^3$
$\mathscr{P}_t = 20\$00/Kg = 20$ escudos/Kg

O valor f é, como se sabe, função de N e este é função de d; por isso, tem de se lhe arbitrar um valor intermédio, para tubos de chumbo. Como se viu,

$$f = 0{,}00140 + 0{,}125\left(\frac{1}{N}\right)^{0{,}32}$$

Supondo, por exemplo, N = 53.000 será,

$$f = 0{,}0053$$

Os coeficientes a e b têm de ser determinados em função de dados experimentais, que em geral se encontram em livros.

Assim, o valor de a encontra-se, por exemplo, em «Chemical Engineering Plant Design», de Vilbrandt, 2.ª edição, página 355, em que se mostra que a taxa de depreciação de tubos de chumbo para ácido sulfúrico é de 10 % e portanto a = 0,1. O valor de b encontra-se na página 349 do mesmo livro (despesas de conservação iguais a 1 % da primeira instalação) e tem-se, portanto, b = 0,01.

O valor de η é o rendimento de nma bomba que eleve o ácido sulfúrico para o depósito e será, por exemplo, $\eta = 0{,}7$.

Ter-se-á, portanto,

$$d = \left[\frac{0{,}01 \times 0{,}0053 \times 1576{,}1 \times 148 \times 10^{-12} \times 8780 \times 1{,}5}{0{,}11 \times 0{,}015 \times 0{,}7 \times 9{,}8 \times 11.400 \times 20}\right]^{0{,}159} =$$

$$= 0{,}028\ m$$

Tem de se usar o tubo de dimensões imediatamente superiores à indicada e que é o de 1 ¼"; mas, por uma questão de segurança usar-se-á o de 1 ½" = 0,0381 m.

Portanto,

$$U_1 = U_2 = \frac{4\,Q_1}{\pi\,d^2} = \frac{4 \times 0{,}53 \times 10^{-3}}{\pi \times 3{,}81^2 \times 10^{-4}} =$$

$$= 0{,}466\ m\ seg^{-1}$$

Verifiquemos se o valor de N que se arbitrou é exacto.

$$U = 46{,}6\ cm\ seg^{-1}$$

$$d = 3{,}81\ cm$$

$$\rho = 1{,}5761\ gr\ cm^{-3}$$

Quanto a μ tem de ser procurado em tabelas.

Em geral, o ácido sulfúrico que vem das fábricas tem uma temperatura superior a 30°; no entanto, podemos considerá-lo a 15°, porque é uma hipótese mais desfavorável.

No «Handbook of Chemistry», de Norbert Lange, 5.ª edição, encontram-se os seguintes dados:

Ácido sulfúrico a 100 % a 15°

$$\mu = 0{,}2694 \text{ poises.}$$

Ácido sulfúrico em solução molar (98 gr/ /litro ~ 9,5 %)

$$\mu_e = 1{,}0898 \text{ ou } \mu = 1{,}0898\ \mu_{\text{água}} =$$
$$= 1{,}0898 \times 0{,}0115 = 0{,}0125 \text{ poises.}$$

O ácido a 53° Bé corresponde a 66,63 % e, portanto, o valor de μ terá um valor compreendido entre os indicados. Não é prático fazer determinações correntes de viscosidade de ácido sulfúrico e, por isso, pode grosseiramente, determinar-se μ por interpolação; sendo assim, ter-se-á que a viscosidade do ácido sultúrico a 53° Bé e a 15° é, aproximadamente

$$\mu = 0{,}0125 + \frac{66{,}63 - 9{,}5}{100 - 9{,}5} \times 0{,}2569 =$$
$$= 0{,}1745 \text{ poises.}$$

Portanto

$$N = \frac{46{,}6 \times 1{,}5761 \times 3{,}81}{0{,}1735} = 1.600,$$

o que mostra que o valor arbitrado foi muito elevado e que o movimento é viscoso.

Como se sabe, para o movimento viscoso,

$$f = \frac{16}{N} = \frac{16}{1.600} = 0{,}01$$

Para este valor de f o valor de d será igual ao valor achado, multiplicado pela relação $\left(\frac{0{,}01}{0{,}053}\right)^{0{,}159}$. Portanto

$$d = 0{,}028 \times (1{,}88)^{0{,}159} = 0{,}028 \times 1{,}1 = 0{,}0308 \text{ m.}$$

Portanto o diâmetro já escolhido, anteriormente, serve.

3) *Fábrica de sulfato de ferro*

Esta fábrica só trabalha nos dias de semana, ou seja 313 dias por ano.

Os valores das diferentes variáveis são iguais aos do caso anterior, com excepção dos seguintes:

$$Q = Q_3 = 0{,}47 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$$
$$Y = 1{,}5 \times 313 = 470 \text{ horas.}$$

Como o movimento deve ser análogo ao anterior, pode tomar-se N = 1.600 e f=0,01.

Portanto,

$$d = \left[\frac{0{,}01 \times 0{,}01 \times 1576{,}1 \times 103 \times 10^{-12} \times 470 \times 1{,}5}{0{,}11 \times 0{,}015 \times 0{,}7 \times 11.400 \times 20}\right]^{0{,}159} =$$
$$= 0{,}0224 \text{ m}$$

Poderia usar-se um tubo de 1", mas, por uma questão de uniformidade e, atendendo, além disso, a que o tubo é muito comprido e está mais sujeito a encravar-se, é preferível usar também 1 ½".

Sendo assim,

$$U_3 = \frac{4\ Q_3}{\pi\ d^2} = 0{,}413 \text{ m seg}^{-1}$$

Será,

$$N = \frac{41{,}3 \times 1{,}5761 \times 3{,}81}{0{,}1745} = 1420$$

e

$$f = \frac{16}{1420} = 0{,}013\ .$$

Portanto, o diâmetro satisfaz.

c) *Conduta geral*

Para esta, além dos dados anteriores ter-se-á:

$$Q = 1{,}5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$$
$$Y = 8780 \text{ horas.}$$

Como o diâmetro será maior, pode tomar-se, por exemplo, N = 2.000 e, portanto

$$f = \frac{16}{2000} = 0{,}008$$

Portanto

$$d = \left[\frac{0{,}01 \times 0{,}008 \times 1576{,}1 \times 3{,}37 \times 10^{-9} \times 8780 \times 1{,}5}{0{,}11 \times 0{,}015 \times 0{,}7 \times 9{,}8 \times 11.400 \times 20}\right]^{0{,}159} =$$

$$= 0{,}0418 \text{ m},$$

que corresponde a um tubo de $2'' \equiv 0{,}0508$ m.

Será

$$U = \frac{4\,Q}{\pi\, d^2} = \frac{4 \times 1{,}5 \times 10^{-3}}{\pi \times 5{,}08^2 \times 10^{-4}} = 0{,}75 \text{ m seg}^{-1}$$

O valor de N correspondente é

$$N = \frac{75 \times 1{,}5761 \times 5{,}08}{0{,}1745} = 3.430$$

Este valor de N, encontra-se na zona de transição do movimento viscoso para o turbulento e corresponde-lhe um valor compreendido entre 0,007 e 0,01. Portanto o valor de d está exacto.

Com estes valores, passaremos ao estudo das perdas de carga.

a) *Fábrica A de superfosfato*

Há a considerar entre a fábrica e o ponto D:

I — *A desembocadura*

Quaisquer que sejam as dimensões do tanque que recebe o ácido a relação $\frac{S_1}{S_2}$ é sempre muito pequena, portanto,

$$H = \left[\left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 + \frac{1}{9}\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2\right]\frac{U_1^2}{2g} \sim \frac{U_1^2}{2g} =$$

$$= \frac{0{,}217}{19{,}6} = 0{,}011 \text{ m}$$

II — *Válvulas*

É uma, que deverá ser cónica.

Como vimos $n = 330$ e, portanto o comprimento recto equivalente é

$$L = n\,d = 330 \times 0{,}0381 = 12{,}6 \text{ m}$$

III — *Curvas*

É uma para a qual $n = 7$.

Portanto,

$$L = 7 \times 0{,}0381 = 0{,}27 \text{ m} \sim 0{,}3 \text{ m}$$

IV — *O comprimento recto do tubo*

Temos de contar com os troços horizontais que são, um de 30 m e outro de 20 m; podemos desprezar os troços verticais porque são curtos, e, além disso a expressão da perda de carga é inferior, devido à existência do termo $-\rho Z$, como já vimos.

O comprimento, para efeitos de perda de carga será

$$L = 12{,}6 + 0{,}3 + 50 = 62{,}9$$

Mas, neste tubo

$$i = \frac{4\,f}{d}\,\frac{U_1^2}{2\,g} = \frac{4 \times 0{,}01}{0{,}0381} \cdot \frac{0{,}217}{19{,}6} = 0{,}0117$$

Portanto a perda de carga será

$$H = 62{,}9 \times 0{,}0117 = 0^m{,}735$$

Acrescentando a perda de carga na desembocadura

$$H_1 = 0{,}735 + 0{,}011 = 0{,}746 \text{ m}$$

Para manter a velocidade U_1 é necessária uma altura

$$h_1 = \frac{U_1^2}{2\,g} = \frac{0{,}217}{19{,}6} = 0{,}011 \text{ m}$$

Portanto, no ponto D tem de haver uma altura disponível de

$$H_1 = 0{,}746 + 0{,}011 = 0{,}757 \text{ m}$$

b) *Fábrica B de superfosfato*

O caso é análogo ao anterior, havendo a considerar a desembocadura ($0^m{,}011$), uma

válvula ($L = 12^m,6$), uma curva ($L = 0^m,3$) e o comprimento recto do tubo que é de 70 m.

Portanto

$$L = 12,6 + 0,3 + 70 = 82,9 \sim 83 \text{ m}$$

Como i é o mesmo, será

$$H_2 = 83 \times 0,0117 + 0,011 = 0,981 \text{ m}$$

A altura para dar a velocidade $U_2 = U_1$ será $h_2 = h_1 = 0,011$ m.

Portanto, no ponto D a altura tem de ser $H_2 = 0,991$ m.

Como $H_2 > H_1$, a altura no ponto D terá de ser H_2. Convém dar-lhe um valor um pouco superior, por segurança; por exemplo $H_2 = 1^m,5$.

c) *Fábrica de sulfato de ferro*

Atendendo ao desnível de 12 metros na parte final só é preciso determinar a altura disponível em E para o percurso entre E e F, onde só aparece uma curva ($L = 0,3$ m) e o comprimento horizontal de 200 m. A perda de carga corresponde a um comprimento

$$L = 200 + 0,3 \sim 200 \text{ m}$$

Neste caso

$$i = \frac{4 \times 0,0113}{0,0381} \cdot \frac{0,171}{19,6} = 0,0104$$

Portanto a perda de carga é

$$H_3 = 0,0104 \times 200 = 2,08 \text{ m}$$

A altura para dar a velocidade U_2 é

$$h_3 = \frac{U_3^2}{2\,g} = \frac{0,171}{19,6} = 0,009 \text{ m} \sim 0$$

A altura disponível no ponto E, terá de ser $\mathscr{H}_3 = 2,08$ m que se pode tomar $\mathscr{H}_3 = 3$ m.

Como a altura em E é de 3 m, necessàriamente, a altura y terá de ser $y < 3^m - 1^m,5$ — (perdas de carga devidas à válvula e ao Tê).

Para que no tubo vertical se mantenha a mesma velocidade a área terá de ser dupla da dos tubos das fábricas de superfosfato e portanto o diâmetro será

$$d_1 = \sqrt{2} \times 0,0381 \text{ m} = 0,054 \text{ m}$$

ou seja cerca de $2'' \cong 0,0508$ m. Os comprimentos equivalentes à válvula e ao Tê serão respectivamente

$$L = 330 \times 0,0508 = 16^m,80$$

e

$$L = 60 \times 0,0508 = 3^m,05$$

o que corresponde a uma perda de carga de

$$H = \frac{4 \times 0,01}{0,0508} \frac{0,217}{1,96} \times 19^m,85 = 0^m,175$$

Portanto

$$y < 3^m - 1^m,5 - 0,175 < 1^m,325$$

d) *Troço comum*

I) *Embocadura*

Como vimos

$$H = \frac{0,5\,U^2}{2\,g} = 0,5\,\frac{0,56}{19,6} = 0,014 \text{ m}$$

II — *Válvula*

Uma correspondente a

$$L = 330 \times 0,0508 = 16,7 \text{ m}$$

III — *Tês*

Há um Tê com uma redução de secção (fig. 36).

A perda de carga pode ser considerada como a soma das 2 perdas de carga.

1 — *Tê*

Será $n = 60$ e

$$L = 60 \times 0{,}0508 = 3{,}05 \text{ m}$$

2 — *Redução de secção para a fábrica de sulfato de ferro*

Será

$$H = K \frac{U_1^2}{2g}$$

A relação

$$\frac{S_1}{S} = \frac{3{,}81^2}{5{,}08^2} = \frac{14{,}5}{20{,}6} = 0{,}71$$

A este valor corresponde $K = 1{,}4$. Portanto

$$H = 1{,}4 \times \frac{0{,}171}{19{,}6} = 0{,}0121 \text{ m}$$

IV — *Comprimento horizontal*

São 40 m.

O comprimento recto total para as perdas de carga será:

$$L = 16{,}7 + 3{,}05 + 40 = 59{,}75 \sim 60 \text{ m}$$

$$i = \frac{4 \times 0{,}01}{0{,}0508} \; \frac{0{,}256}{19{,}6} = 0{,}0103$$

Portanto,

$$H = 0{,}0103 \times 60 + 0{,}014 + 0{,}012 = 0{,}644 \text{ m}$$

A altura necessária para dar a velocidade $0{,}75 \text{ m seg}^{-1}$ terá de ser

$$h = \frac{U^2}{2g} = \frac{0{,}56}{19{,}6} = 0{,}0285 \text{ m}$$

Portanto, a altura total à saída $\mathscr{H}$ terá de ser

$$\mathscr{H} = \mathscr{H}_3 + H + h = 3 \text{ m} + 0{,}644 + \\ + 0{,}0285 = 3{,}7725 \text{ m}$$

Por segurança pode fazer-se $\mathscr{H} = 5$ m.

Portanto, o nível de saída deve estar a 5 m do ponto E ou seja $x = 5$ m.

e) *Calhas de sulfato de ferro*

Podem fazer-se com secção rectangular (fig. 37) e forradas de chumbo e há a determinar as dimensões e a inclinação.

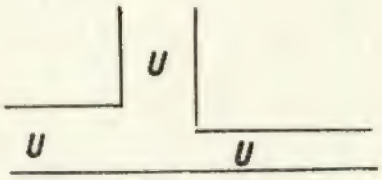


Fig. 36

Em cada operação formam-se 10 m^3 de sulfato de ferro que têm de ser descarregados em 2 horas, ou seja com um caudal

$$Q = 1{,}4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$$

Admitindo uma velocidade de $0{,}5 \text{ m seg}^{-1}$ ter-se-á

$$S = \frac{Q}{U} = \frac{1{,}4 \times 10^{-3}}{0{,}5} = \\ = 2{,}8 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 28 \text{ cm}^2$$

Mas

$$S = \frac{b^2}{3} \text{ ou } b = \sqrt{3 \times 28} = 9{,}2 \text{ cm} \sim 10 \text{ cm}$$

A perda de carga por metro será

$$i = \frac{f}{\bar{r}} \cdot \frac{U^2}{2g}$$

O valor de f terá de ser determinado a partir de N. Como o valor de μ para o sulfato ferroso não se encontra nas tabelas vulgares, podemos supor que o movimento é fortemente turbilhonar e dar a f um valor médio, por exemplo $f = 0{,}003$

Por outro lado

$$\bar{r} = \frac{\frac{b^2}{3}}{b + \frac{b}{3} + \frac{b}{3}} = \frac{b}{5}$$

Portanto,

$$i = \frac{5 \times 0{,}003}{0{,}1} \frac{0{,}25}{19{,}6} = 0{,}00189$$

O comprimento total das calhas é de $L = 120$ m.

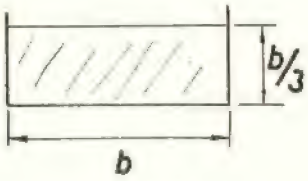


Fig. 37

Portanto a perda de carga é

$$H = 120 \times 0{,}00189 = 0{,}227 \text{ metros}$$

A altura para dar a velocidade 0,5 será

$$H = \frac{U^2}{2g} = \frac{0{,}25}{19{,}6} = 0{,}0128 \text{ m}$$

Portanto o desnível da calha deverá ser

$$\mathscr{H} = 0{,}227 + 0{,}0128 = 0{,}2398 \sim 0^{m},3$$

Dando o desnível de $0^{m},5$ por uma questão de segurança, a inclinação será

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0{,}5}{120} = 0{,}00415 = 4{,}15 \ \% \ .$$

(Conclui no próximo número)

Algumas causas químicas e físicas da corrosão do ferro e dos metais ferrosos

PELO DR. ARTHUR DE SOUSA

C. D. 669 24:620.19

Durante estes últimos anos, o problema da corrosão deu lugar a um grande número de investigações, com o fim de explicar as causas de esta terrível «doença», pois ousamos assim chamá-la, dos metais e sobretudo do ferro e dos metais ferrosos. Basta saber que a corrosão destroi cada ano a quinta parte da produção mundial de ferro fundido e de aço, para nos convencermos da importância deste prejuízo económico e simultâneamente perigoso.

É precisamente com o fim de combater os efeitos desastrosos da corrosão que ameaça a técnica do século vinte, que se procurou estudar o mecanismo da corrosão. O fim desta publicação é de resumir as diferentes hipóteses sobre o mecanismo da corrosão e de tentar demonstrar como um fenómeno aparentemente simples, é na realidade muito mais complicado logo que tomamos em conta todas as causas possíveis.

Na primeira metade do século XIX, havia a tendência em admitir que a corrosão era um fenómeno simples de oxidação química. Entre os numerosos trabalhos expondo esta opinião, pode citar-se um trabalho datando de 1819, atribuido a Thenard, no qual se encontra pela primeira vez, a par da hipótese duma oxidação química, a da formação da ferrugem por um processo electroquímico. Pensava-se já em proteger os metais da corrosão. Assim, Davy propôs em 1819, o emprego de ferro ou de zinco para proteger o cobre contra a acção da água do mar. Em 1838, Mallet demonstra que a corrosão é um fenómeno puramente electroquímico.

Por outro lado, Faraday em 1834, lança a ideia que a corrosão não pode ser considerada como um fenómeno puramente químico, mas que há uma analogia indiscutível entre a pilha de Volta e o fenómeno de corrosão dos metais contendo impurezas. Outros investigadores pensaram ser o gás carbónico do ar o ácido destructor. Foi sòmente no princípio do século XX, que Whitney e Cushmann começaram a aplicar a teoria de Nernst.

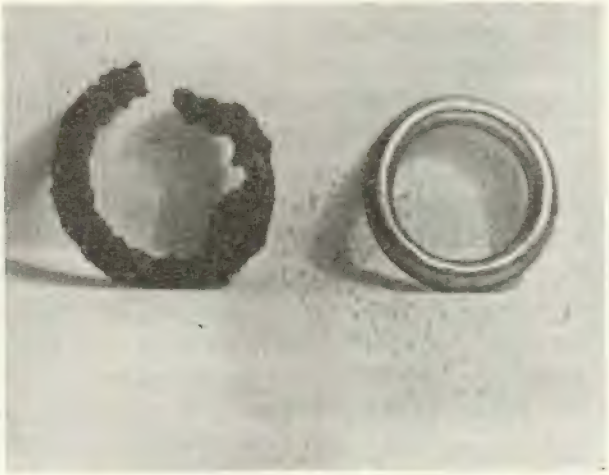


Fig. 1
Exemplo nítido da corrosão dum anel de ferro por efeito da imersão durante seis meses, em areia molhada continuamente por água do mar. Á esquerda, estado do anel atacado, com incrustações de ferrugem e areia, e à direita a amostra que não sofreu ataque. Deve notar-se que as tensões mecânicas internas produziram uma rotura assim como uma deformação da amostra sujeita ao ataque da água do mar.
(Fotografia do autor)

Teoria electroquímica da corrosão

Sabemos que um metal, ou melhor os átomos de um metal podem perder electrões transformando-se em iões, e que esta transformação se dá sem gasto algum de energia,

mas pelo contrário com uma produção de energia. Consideremos um bocado de ferro que mergulha numa solução bastante diluída de um sal qualquer. Imediatamente alguns átomos da amostra perdem cada um dois electrões, passando à solução. Podia chamar-se dissolução do metal na solução, mas com um sentido um pouco diferente do que é usado para falar de um sal dissolvido na água. A solução salina na qual mergulhamos o pedaço de ferro conterá iões ferrosos. Com poucas excepções, todos os metais vulgares passam para a solução, qualquer que seja a composição. É evidente que isto não se aplica a líquidos não condutores de electricidade, tais como o óleo, o benzeno etc.. Nós consideraremos neste estudo sómente as soluções químicas que permitem a dissolução dos metais sem ataque químico. Mas se se trata de um metal mergulhando numa solução ácida, dar-se-á, não sómente uma dissolução electrolítica, mas sobretudo uma dissolução química bastante pronunciada.

Nernst interpretou estes fenómenos admitindo que cada metal tende a passar à solução com uma pressão (ou força) caracterizada pela emissão de corpúsculos de grande massa, chamados iões positivos; toda a evolução do sistema metal-solução depende das pressões de passagem à solução, e da reprecipitação dos iões metálicos, pois pode acontecer que uma solução contendo iões de um metal se empobreça pela reintegração dos iões em um pedaço de metal mergulhado na dita solução.

Vamos ver em que condições há dissolução ou precipitação. Seja P a pressão (osmótica) de emissão de iões de metal e p a pressão (osmotica) de deposição dos iões metálicos; podemos ter:

1) $P = p$: há equilíbrio; as cargas negativas do metal e os iões positivos da água conservam-se em equilíbrio electrostático. O metal não passa em solução e por conseguinte não perde peso.

2) $P > p$: o metal dissolve-se; o equilíbrio é quebrado pela eliminação de hidrogénio, a água decompõe-se e o metal é atacado. É um dos casos em que se verifica a corrosão; estudá-lo-emos mais detalhadamente adiante.

3) $P < p$: os iões metálicos descarregam-se sobre o metal com formação de um depósito metálico.

Algumas pressões de dissolução de metais

$Be \rightarrow Be^{\cdot\cdot}$ . . .	10^{53}	atmosferas	por cm^2
$Zn \rightarrow Zn^{\cdot\cdot}$ . . .	10^{26}	»	» »
$Pb \rightarrow Pb^{\cdot\cdot}$ . . .	$10^{4,5}$	»	» »
$Cu \rightarrow Cu^{\cdot\cdot}$ . . .	10^{-11}	»	» »
$2Hg \rightarrow Hg^2$ . . .	10^{-13}	»	» »
$Au \rightarrow Au^{\cdot\cdot}$ . . .	10^{-17}	»	» »

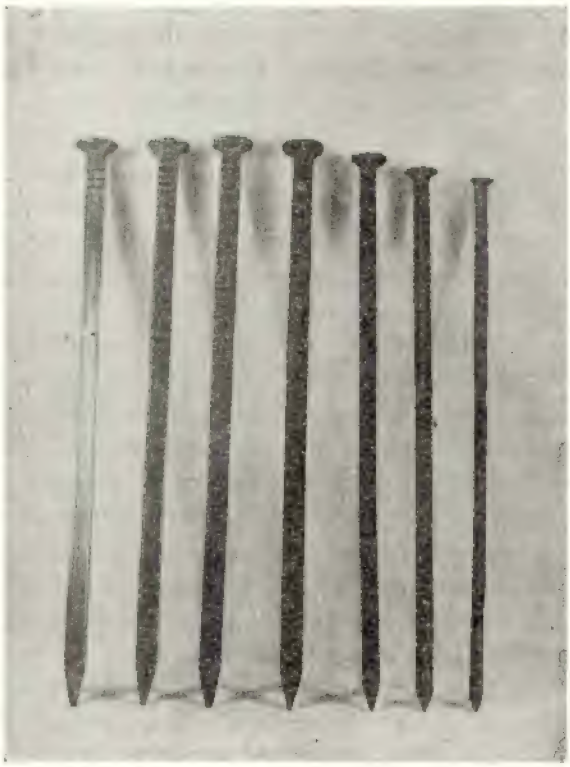


Fig. 2
História de um prego de ferro atacado durante um ano por ClH N/10

N.º 1	Amostra sem ataque (padrão)				
N.º 2	id. depois de	2	meses de	ataque	
N.º 3	id. id.	4	id.	id.	
N.º 4	id. id.	6	id.	id.	
N.º 5	id. id.	8	id.	id.	
N.º 6	id. id.	10	id.	id.	
N.º 7	id. id.	12	id.	id.	

(Fotografia do autor)

A pressão de dissolução dos metais varia com a natureza da solução aquosa e com a natureza dos metais. É costume exprimir

esta «pressão» em Volts. A medida do potencial «absoluto» não é possível pelo contacto metal-solução, mas pràticamente pode-se determinar as diferenças de potencial utilizando eléctrodos de referência. Com efeito, um bocado de metal mergulhado em uma solução qualquer não constitui uma pilha e por conseguinte não há processo de termos uma diferença de potencial. Para podermos conhecer a força electromotriz reúne-se esta meia pilha a uma outra meia pilha e com este conjunto podemos obter uma pilha. Infelizmente esta não pode debitar corrente, e por conseguinte um voltímetro não pode ser utilizado para determinar a força electromotriz. Lançou-se mão de métodos especiais com o fim de medir a diferença de potencial. Vejamos alguns potenciais Metal/Solução:

Metal/Solução Normal do sal do Metal

K/K	2,925	Volts
Mg/Mg''	-1,55	«
Al/Al''	1,34	«
Mn/Mn''	1,04	«
Zn/Zn''	0,76	«
Fe/Fe''	0,43	«
Pb/Pb''	0,12	«
Sn/Sn''	-0,10	»
Cu/Cu''	0,34	»
Ag/Ag'	0,80	»
Pt/Pt''''	0,86	»

Metal/Solução ClNa 3 °/₀

Al	0,63	Volts
Mn	1,05	»
Zn	0,83	»
Fe	-0,34	»
Fb	0,39	»
Sn	0,25	»
Cu	0,02	»
Ag	0,24	»

Nernst estabeleceu uma fórmula que permite calcular o potencial de um metal a partir das pressões P e p:

$$E = RT/nF \log P/p$$

sendo:

T = temper, absoluta
R = Constante dos gases perfeitos
n = Valência
F = Faraday = 96500 coulombs
P = Pressão de dissolução
p = Pressão de precipitação

Como já dissemos no principio deste capítulo, sem conhecer o potencial metal-solução, podemos explicar a corrosão do ferro pela sua passagem à solução. A equação iónica da solução é a seguinte:

$$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2 \text{ cargas negativas livres}$$

Como existem iões hidrogénios em todas as soluções, a que faltam electrões (cargas negativas), teremos a seguinte reacção iónica:

$$2H^{+} + 2 \text{ cargas negativas} \rightarrow H_2\uparrow$$
(hidrogénio nascente)

O processo iónico da corrosão pode pois escrever-se:

$$Fe + 2H^{+} + O^{--} \rightarrow Fe^{++} + O^{--} + H_2\uparrow$$

A passagem dum metal em solução origina um desenvolvimento de hidrogénio. Examinemos agora o mecanismo químico da corrosão. Vimos que na equação iónica anterior, existe ferro no estado de iões ferrosos e iões oxigénio (duas cargas negativas). Num meio húmido, isto é em presença de água, vamos obter o produto intermédio da ferrugem:

$$Fe^{++} + O^{--} + OH_2 \rightarrow (OH)_2\,Fe$$
hidrato ferroso

O hidrato ferroso não é um composto estável e em presença do oxigénio (da solução ou do ar) oxida-se dando a ferrugem (óxido férrico):

$$4\,Fe\,(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2O_3\,Fe_2\,OH_2 + 2OH_2$$
Óxido de ferro

Segundo Wieland e Franke, é provável que estas reacções em vez de se darem em

duas fases se realizem numa só, mas o resultado não se altera.

Continuemos mais em detalhe a examinar o mecanismo da corrosão pela formação de pilhas: acontece frequentemente haver dois metais em contacto um com o outro. Pode isto dar-se por diferentes modos. Assim, para efectuar um ajustamento usam-se frequentemente rebites; ora, se estes rebites não são da mesma natureza que o metal da base, cria-se uma corrente eléctrica logo que o conjunto é posto em contacto com um electrólito (por exemplo, água do mar), o que origina uma inevitável destruição, seja do rebite, seja do metal da base. O mesmo se dará para todo o ajustamento heterogéneo constituído por metais. Áparte estes contactos exteriores de dois metais, o próprio metal pode ter inclusões e conter impurezas inorgânicas que provoquem a sua destruição. Sabe-se, com efeito, que o ferro puro dificilmente se dissolve no ácido sulfúrico, ao passo que o ferro comercial é destruído com grande rapidez. No caso das ligas, são as inclusões que produzem a corrosão; assim para o duro alumínio, o máximo de corrosão coincide com o teor máximo do composto conhecido $Al\ Cu_3$.

Uma outra causa da corrosão pela formação de pilhas é aquela provocada por metais que tenham sofrido tratamentos térmicos. Será possível haver uma diferença física entre dois bocados frios de um mesmo metal, em que uma das amostras foi anteriormente aquecida ao rubro e arrefecida bruscamente. Apesar de terem a mesma composição química as duas amostras diferem muito uma da outra. Com efeito um bocado de um metal qualquer a frio, ou um bocado de metal que não tenha sofrido tratamentos térmicos anteriores, têm uma certa desordem na disposição das suas moléculas.

Um tratamento térmico, sobretudo se é brusco (têmpera etc.) tem como consequência forçar as moléculas a tomar certas posições umas em relação às outras. Não estamos em presença duma cristalização pròpriamente dita, mas de qualquer coisa semelhante. Graças a esta pseudo-cristalização, o ferro tem mais facilidade de passar à solução do que sofrer corrosão. Dados dois bocados

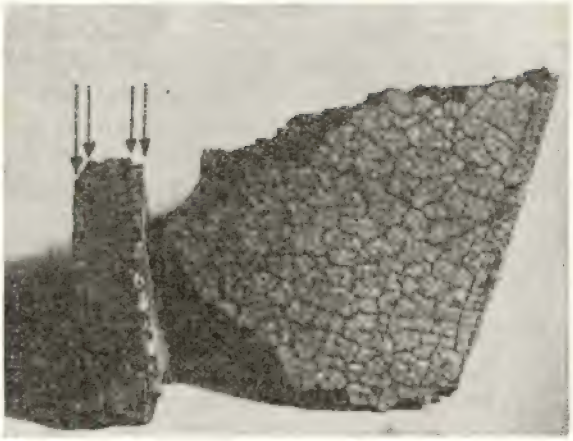


Fig. 3

Amostra de um bocado de ferro fundido que sofreu tratamentos térmicos violentos. Trata-se de uma peça de um forno para cerâmica que foi aquecido e depois resfriado pelos vapores de água.

O ataque à alta temperatura é violento, tendo nós disso uma prova pelo exame da camada de ferrugem formada de cada lado da amostra.

(Fotografia do autor)

dum mesmo metal, que tenham sofrido tratamentos térmicos diferentes, pode formar-se uma pilha. Pôde assim constatar-se a existência duma força electromotriz de 0,1 Volt, numa pilha formada de duralumínio recozido e de duralumínio temperado. Segue-se que cada vez que uma peça metálica tenha partes desigualmente recozidas ou temperadas, se pode observar a produção de uma corrente em contacto com um electrólito, e por conseguinte, uma corrosão.

Para os técnicos é importante saber que as soldaduras autogénias são centros de corrosão intensa, dado o caso que sòmente uma parte do metal tenha sofrido um aquecimento em relação a toda a massa vizinha.

Os tratamentos mecânicos sofridos por um bocado de metal são igualmente causas da sua destruição por via electroquímica. Se os tratamentos térmicos irregulares são causa duma corrosão intensa, da mesma forma o são os tratamentos mecânicos heterogéneos. Pôde assim constatar-se que entre um metal recozido e um metal cru, existe uma apreciável diferença de potencial, se os dois elementos ficam em contacto com um electrólito.

Visto que se pode criar uma corrente entre duas partes dum mesmo metal tendo sofrido

desiguais deformações mecânicas, estas heterogeneidades podem provocar corrosão. Pràticamente isto pode aplicar-se na construção metálica, em que os sítios fortemente martelados ou estirados, se atacam com grande facilidade sob a acção da água ou de um líquido condutor.

Só vagamente vímos as causas possíveis da corrosão dos metais ferrosos. Convém no entanto dizer algumas palavras sobre uma outra teoria. Tudo o que nós vimos até aqui, mostra bem que a corrosão é uma consequência das heterogeneidades na superfície de contacto com um electrólito. É pois, utilizando uma expressão de Pierre Curie, «a dissimetria que provoca o fenómeno». Um metal perfeitamente homogéneo não se deveria corroer, desde que o electrólito fosse também homogéneo em todas as suas partes.

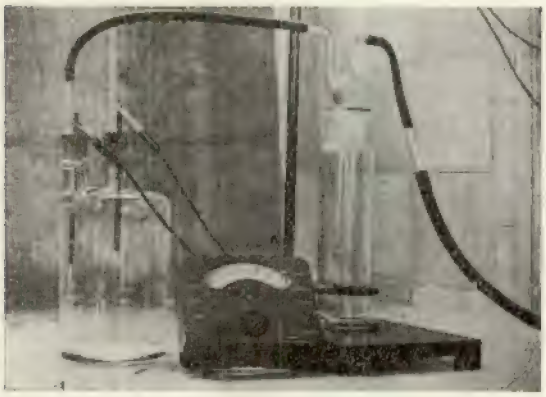


Fig. 4

Dispositivo experimental imaginado pelo autor para pôr em evidência o potencial devido a um efeito de aerisação diferente. Produzem-se bolhas de ar com um auxílio de trompa, perto de um dos electrodos, absolutamente identicos, ao passo que o outro electrodo mergulha no mesmo electrolito sem aerisação. A força electro-motriz é determinada com o auxílio dum milivoltímetro.

(Fotografia do autor)

Por exemplo, mergulhando parcialmente uma placa de metal em uma solução, constatar-se-á depois de alguns dias, um ataque muito pronunciado na linha de separação ar-solução. É um ataque devido a uma desigual aerização das partes do metal. Segundo Evans, fundador desta teoria, seria o oxigénio que desempenharia o principal papel na destruição do metal. Uma experiência simples põe em evidência as bases desta teoria. Se se mergulham dois bocados idênticos de um mesmo metal em uma solução, e se estes dois eléctrodos são curto-circuitados por meio de um miliamperímetro, é fácil mostrar que logo que se faz borbulhar ar contra um dos electrodos, cria-se uma corrente eléctrica através do circuito. Por consequência, há uma diferença de potencial entre os dois eléctrodos. Não pretendemos entrar nos pormenores desta teoria, de resto muito discutida, mas podemos tirar um ensinamento muito útil: todas as vezes que um metal sofre uma aerização desigual, há formação de ferrugem.

Fig. 5

Exemplo prático de corrosão devido a diferente aerisação duma hélice de bronze, atacada por efeitos eletroquímicos de corrosão. É evidente que o efeito da água do mar com o ar, produz o fenómeno de Evans ao qual nós fizemos referência.

(Fotografia do autor)

As teorias da corrosão são numerosas e no nosso estudo, quisemos simplesmente relatar as principais, para poder examinar as causas mais importantes da corrosão do ferro e dos metais ferrosos.

VULCANIZAÇÃO DE PNEUS

POR JOSÉ TELLES

Do Curso de Engenharia Electrotécnica

C. D. 678.028

Dado o carácter único duma instalação deste género em Portugal, pareceu-me útil a publicação do que se segue, elaborado a partir das notas e ensinamentos colhidos durante a minha estadia na Fábrica de Lousado, pertencente à Manufactura Nacional da Borracha.

Como o nome indica, só me ocuparei das operações que têm lugar nesta secção, citando, apenas a título informativo, o trabalho executado nas outras.

Ainda que tenha procurado focar todos os pormenores técnicos importantes, muito fica ainda por dizer. Só com um trabalho mais prolongado na Fábrica poderia preencher essas lacunas.

Expresso aqui o meu agradecimento à Direcção Técnica da Fábrica pela sua atitude de boa vontade manifestada, especialmente, em facilitar a consulta a certos desenhos e esquemas confidenciais, sem os quais teria sido impossível elaborar este artigo.

I — Introdução

Numa fábrica de manufactura de pneus é o trabalho conjugado de todas as secções que permite apresentar o produto final perfeito.

Assim, o material inicial mais importante, a borracha, que passa sucessivamente por moinhos lavadores, estufas, moinhos misturadores, onde é lotada com outros produtos químicos, e aplicada depois sobre telas em calandras ou moldada sob diversas formas em tubuladoras, vai aparecer na secção de vulcanização, depois de ter sido trabalhada noutras dependências de modo a poder ser vulcanizada.

Deste modo, o trabalho de quase toda a fábrica influe na qualidade do material apresentado à secção de vulcanização, mas é nela que se opera a última fase de fabrico.

Vemos assim a sua importância na produção [1].

E ainda mais, se nas outras fases de fabrico qualquer deficiência pode ser remediada fàcilmente e sem grande prejuizo, aqui, um erro, em geral, conduz à perda total do produto. É verdade que se pode emendar por vulcanização parcial, mas este processo só é aplicável a pequenos defeitos.

Para completar esta vista geral, só nos falta falar no Laboratório de Ensaios, cuja acção se faz sentir em todas as fases do fabrico. É nele que se determinam todas as alterações a fazer em face dos resultados de exames continuados ao material produzido.

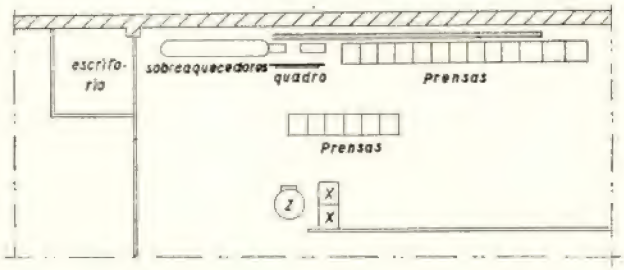


Fig. 1 — Planta da secção de vulcanização

X — Máquinas de colocar sacos de vulcanização e enformar pneus

Z — Máquina para retirar os sacos depois da vulcanização

[1] Há ainda a *secção de controle* onde se separam em categorias, segundo a qualidade do fabrico, os pneus, câmaras de ar e «flaps», podendo mesmo serem rejeitados os defeituosos, e o *Armazém*.

Na secção de vulcanização encontram-se, além das prensas de vulcanização para pneus e câmaras de ar, sobreaquecedores, diversas máquinas de acabamento, etc..

II — Instalação de distribuição

Por meio dela se faz a distribuição às prensas dos diversos elementos necessários à vulcanização, tais como água, vapor e ar comprimido.

Temos, além dum sobreaquecedor geral da água, por meio de vapor, dois sobreaquecedores parciais.

A água, fornecida pelos compressores à pressão de 250 Libras/polegada quadrada [1] (17,5 kg/cm^2), uma vez sobreaquecida no sobreaquecedor geral, vai compensar as perdas verificadas nos circuitos de circulação dos sobreaquecedores parciais.

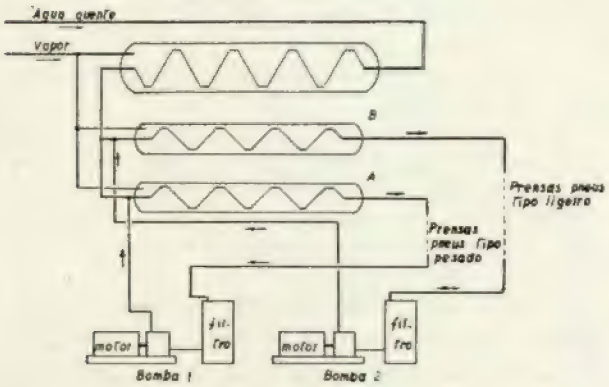


Fig. 2 — Instalação dos sobreaquecedores

Tais circuitos são como se vê na fig. 2.

Sobreaquecedor A — Prensas para pneus tipo pesado — Filtro-Bomba 1 — Sobreaquecedor A

Sobreaquecedor B — Prensas para pneus tipo ligeiro — Filtro-Bomba 2 — Sobreaquecedor B.

Junto aos sobreaquecedores há um quadro de comandos onde se encontram os reguladores de pressão (v. fig. 1).

Estes reguladores devem manter o mais constante possível a pressão dos elementos a introduzir nas prensas para que as condições de vulcanização sejam constantes.

A regulação da pressão da água quente no sobreaquecedor geral é feita apenas por regulação da pressão do vapor de aquecimento. O aumento (ou diminuição) da pressão da água, actuando sobre um tubo em espiral faz diminuir (ou aumentar) a pressão do ar comprimido aplicado à válvula de admissão do vapor de aquecimento Deste modo, a regulação é automática, podendo nós, observando os manómetros 1, 2 e 3, ver os desvios logo compensados, que se dão de vez em quando.

Instalação semelhante, se encontra no quadro, para o ar comprimido e o vapor, a usar nas prensas.

Para os sobreaquecedores parciais uma melhor regulação é obtida pela associação de dois reguladores, um actuando pela pressão Rp (como os anteriores) e outro pela temperatura Rt.

Deste modo, as duas acções conjugam-se de maneira a manter constante o estado da água. Torna-se, assim, muito atenuada a influência de se abrirem simultâneamente as válvulas de admissão da água quente, em várias prensas.

As válvulas de regulação da pressão do vapor de aquecimento possuem, na parte superior, duas câmaras independentes.

Cada câmara recebe ar comprimido, cuja pressão variável numa é comandada pelo regulador Rp e noutra por Rt.

Esta disposição permite o trabalho perfeito de cada regulador, independentemente um do outro, assegurando portanto o serviço mesmo em caso de avaria em qualquer dos reguladores.

Os termómetros registadores dão-nos a variação de temperatura da água quente à entrada e saída, assim como de vapor, tanto para fabrico de pneus tipo ligeiro como pesado.

Todos estes reguladores, depois de regulados para uma determinada temperatura ou pressão [1], podem ser ajustados manualmente por pequenas chaves.

---

[1] Referir-nos-emos sempre a Libras/polegada quadrada, em virtude de todos os aparelhos da instalação assim estarem graduados.

[1] Neste ponto a pressão do ar comprimido aplicado às válvulas é nula.

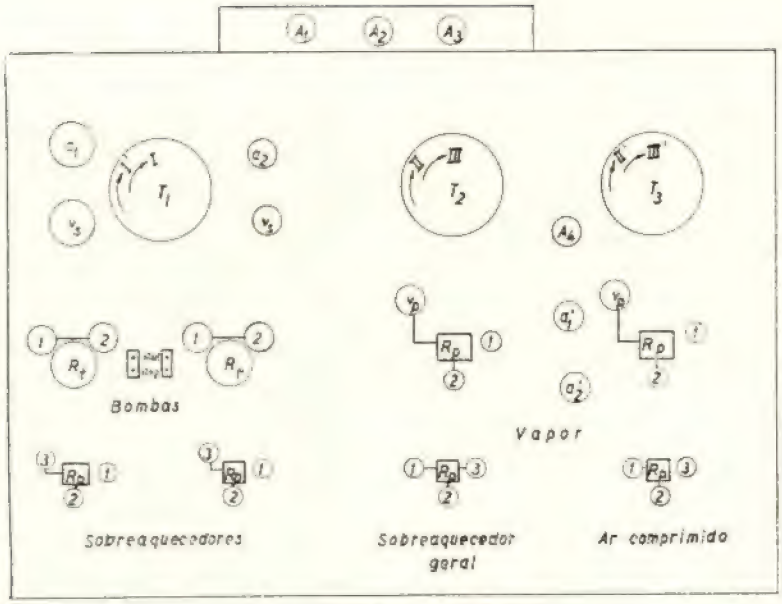


Fig. 3 — Quadro de regulação

T_1, T_2 e T_3 — termómetros registadores
I — gráfico da temperatura da água quente à saída
II — gráfico da temperatura da água à entrada
III — gráfico da temperatura do vapor para as prensas
A_1 — manómetro da água fria a alta pressão
A_2 — manómetro da água fria a baixa pressão
A_3 — manómetro do ar comprimido a alta pressão
A_4 — manómetro do ar comprimido a baixa pressão
a_1 — manómetro da água quente à entrada da prensa
a_2 — manómetro da água quente à saída da prensa
a_3 — manómetro da pressão do vapor para o sobreaquecedor
a_4 — manómetro da pressão do vapor para as prensas
R_t — Regulador de pressão actuando pela temperatura
R_p — Regulador de pressão actuando pela pressão
1 — Manómetro para ar comprimido à disposição na instalação — 40 Lb
2 — Manómetro para ar comprimido aplicado à válvula de admissão
3 — Manómetro do meio a regular a pressão
Os aparelhos cujos indicativos estejam assinalados com (1) referem-se ao circuito de distribuição das prensas grandes (pneus tipo pesado) e as outras ao circuito das prensas pequenas (pneus tipo ligeiro).

Por detraz do quadro, (veja-se a fig. 4), estão colocadas as bombas de circulação da água quente.

X

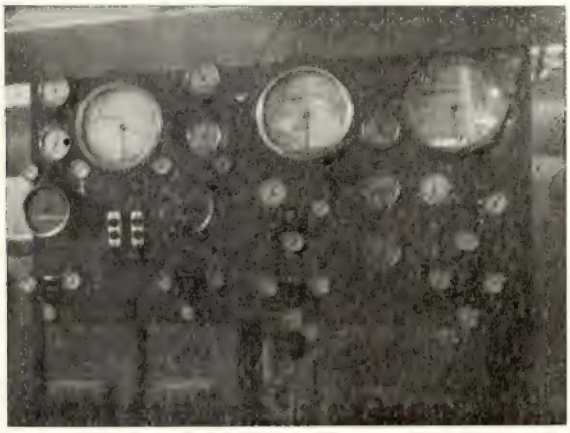


Fig. 4 — Vista do quadro de regulação e bombas de circulação
A disposição dos aparelhos é exactamente a mesma da fig. 3
x — Chave de regulação

A tubuladora de distribuição da água, vapor e ar comprimido, que vem da sala dos compressores e da caldeira, passa toda por cima dos sobreaquecedores e segue ao longo da parede (ver fig. 1).

O sistema de válvulas que promove a admissão dos diversos elementos às prensas, será descrito adiante, juntamente com o funcionamento delas.

III — Prensas

São máquinas providas de moldes, com comandos muito perfeitos [1], onde se sujeita a borracha a determinadas condições de pressão e temperaturas.

Devido à sua importância, vamos estudá-las em detalhe.

[1] Estas até os possuem automáticos, mas mesmo nos E. U. A. existem ainda hoje muitos outros tipos em uso, inferiores a este. São fabricados pela The Mc. Neil Machine & Engineering Co, Akron, Ohio.

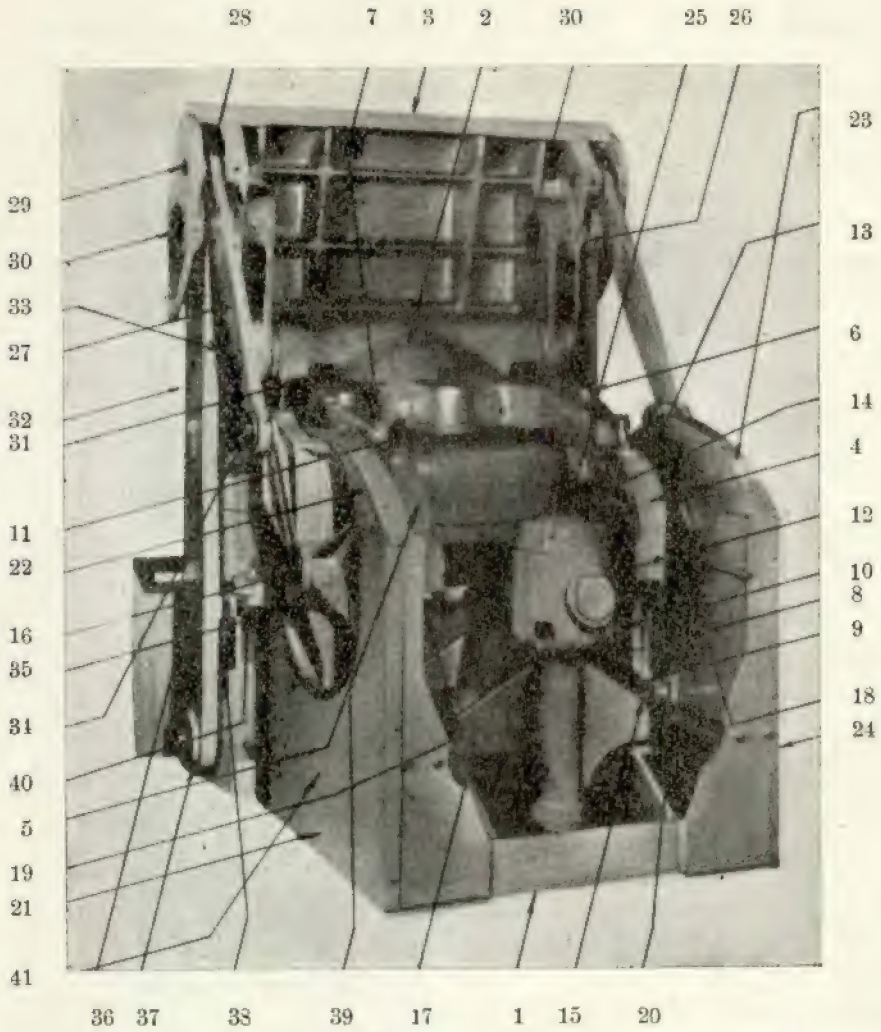


Fig. 5 — Vista da prensa de vulcanização

1 — Base
2 — Tampa da prensa
3 — Peça de ligação da tampa com a transmissão
4 — Braço guia (da esquerda)
5 — Braço guia (da direita)
6 — Parafuso de fixação da tampa
7 — Parafuso de fixação do braço guia
8 — Interior do braço guia
9 — Cavilha do braço guia
10 — Braço guia
11 — Válvula de lubrificação
12 — Came lateral posterior
13 — Came superior
14 — Came lateral anterior
15 — Veio do parafuso sem fim
16 — Veio da roda motora
17 — Anteparo para protecção do parafuso sem fim
18 — Excêntrico exterior (do lado esquerdo)
19 — Excêntrico interior (do lado direito)
20 — Apoio do veio do parafuso sem fim
21 — Protecção lateral das engrenagens
22 — Protecção superior direita das engrenagens
23 — Protecção superior esquerda das engrenagens
24 — Protecção inferior esquerda das engrenagens
25 — Protecção das cames
26 — Munhão do veio
27 — Braço de ligação
28 — Munhão do veio
29 — Veio do braço de ligação
30 — Veio do extremo superior do braço de sustentação
31 — Parafuso de ajustamento
32 — Braço de sustentação
33 — Ligação entre a tampa e a peça superior
34 — Junção da roda motora com o braço de ligação
35 — Roda motora
36 — Anteparo anterior
37 — Veio do extremo inferior do braço de sustentação
38 — Placa de encosto e deslisamento do braço de sustentação
39 — Veio da roda motora
40 — Apoio da base da prensa
41 — Roda dentada que engrena com a roda motora

1 — *Constituição*

São formadas essencialmente por uma caixa circular onde se encontram os moldes de vulcanização, possuindo ainda um motor assincrono e um complicado sistema de transmissão do movimento deste motor à tampa da caixa (ver fig. 5).

fazendo-se o ajuste estanque da tampa com a base pela forma indicada no pormenor da fig. 6.

É a própria pressão do vapor dentro da caixa que obriga a um ajuste da cinta de borracha às paredes.

A tampa é coberta com amianto para evitar a radiação e consequente aquecimento

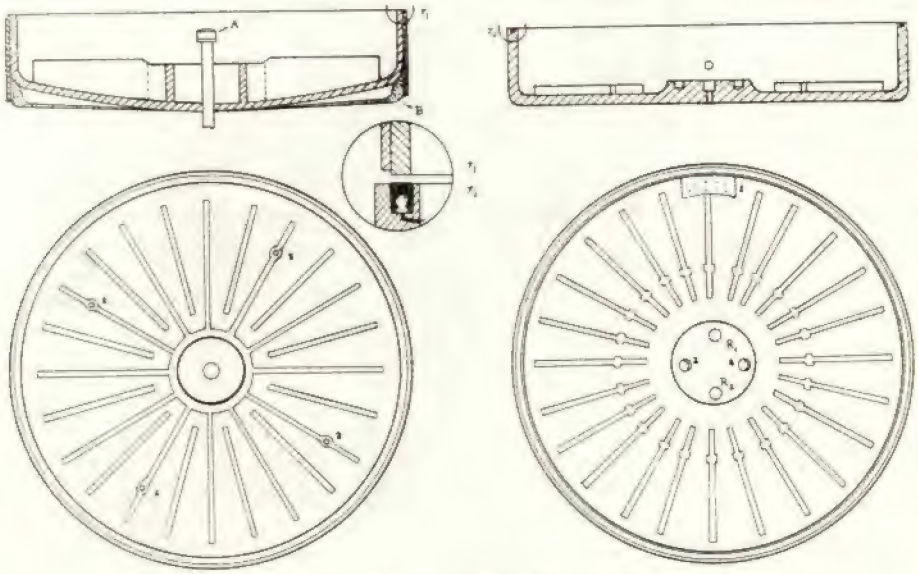


Fig. 6 — Base e campa das prensas

1 — Saída da água condensada provida de válvula de retenção para o vapor
2 — Para aperto dos moldes à tampa e base
A — Aspergidor de água fria
B — Pasta de amianto

Na base há, além dum escoadouro para a água condensada provido duma válvula

Fig. 7 — Moldes para cintas

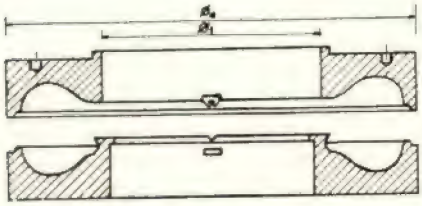


Fig. 8 — Moldes para sacos de vulcanização

de retenção para o vapor, entrada e saída para os diversos elementos de vulcanização,

das peças de transmissão que se encontram sobre ela.

Aparte as dimensões, temos a distinguir:
Moldes para cintas («flaps»);
Moldes para sacos de vulcanização;
Moldes para pneus.

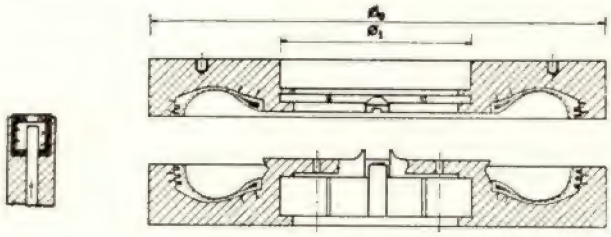


Fig. 9 — Moldes para pneus
Considerou-se o pneu já vulcanizado, colado ainda ao molde e fez-se o corte. As telas estão indicadas a ponteado

Vemos pela fig. 9, que o ajustamento estanque dos tubos de admissão às entradas

dos sacos é conseguido por forma idêntica ao usado na tampa.

2 — *Accionamento*

Estas máquinas são individualmente acionadas por motores assincronos trifásicos de características:

Tensão	380 V.
Corrente	4,3 A.
Velocidade	1000 rpm
Frequência	50 Hz
Vertical, protegido	

A complexidade da transmissão resulta não só da necessidade de fazer o deslocamento da tampa duma maneira suave e absolutamente exacta, de modo a não danificar o pneu, como ainda de ter duas espécies de movimento.

Fig. 10 – Vista da prensa na posição máxima de recuo
Note-se a posição das peças que comandam a vareta *a* e compare-se nas outras fotografias com a posição de prensa fechada

Foi por um traçado inteligente de excêntricos que se conseguiu tal objectivo. O primeiro movimento, usa-se quando se introduz o pneu na prensa e permite fazer um ajustamento perfeito, visto a prensa cair absolutamente na vertical.

O segundo é aplicado na abertura e nele se obriga o pneu a deslocar à frente no molde inferior e atraz no molde superior, por meio duma pequena deslocação da tampa.

É nesta altura que a vareta *a* se desloca para debaixo do pneu e o segura mesmo depois da prensa parar (ver fig. 10).

A roda motora marcha sempre no mesmo sentido, mas a disposição dos excêntricos é que origina estes dois movimentos diferentes.

3 — *Comando automático*

Todas as prensas possuem um controle eléctrico que regula os tempos de vulcanização, comanda o movimento da tampa, etc , (ver fig. 11). Ele compõe-se de:

a) Regulador de tempo «Seely».

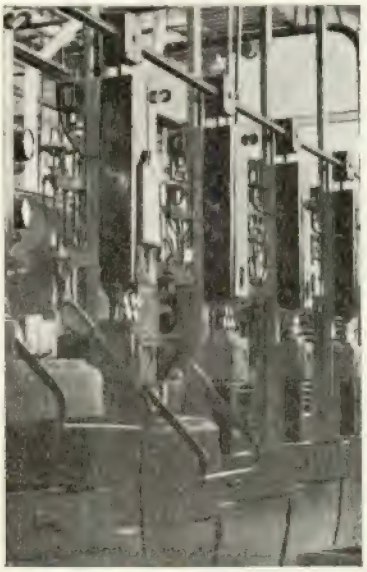


Fig. 11 — Linha de prensas
Note-se na parte superior, as caixas de distribuição de energia eléctrica e as canalizações

É por intermédio dele que se comanda, o ar comprimido, as válvulas de admissão dos diversos elementos que são necessários para a vulcanização (ver fig. 12).

Neste regulador a simples alteração da posição duma alavanca, oferece a possibilidade de ter perto de 30 períodos diferentes. A regularidade dum motor sincrono e a fabricação precisa das rodas dentadas de transmissão colocadas no veio motor, permitem obter para estes diversos períodos, tempos rigorosos. A alavanca move-se sobre um sector tendo indicado duas escalas diferentes de tempos. Usa-se uma ou outra, con-

forme a posição do regulador de marcha (botão R).

Lento corresponde à escala de 40 a 200 m (fast).

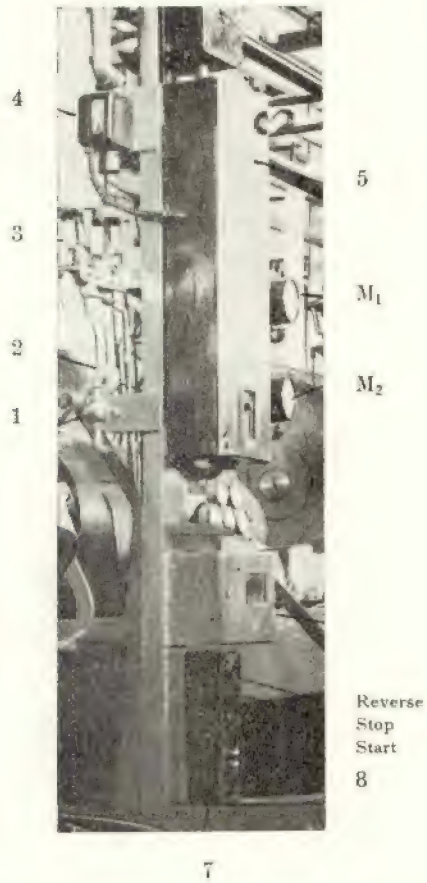


Fig. 12 — Vista do comando das prensas

1 — Válvula de admissão do ar comprimido para comando das válvulas. É aberta por pressão da tampa da prensa
2 — Filtro
3 — Válvulas de comando A e B (as C e E estão colocadas do outro lado por detraz da coluna)
4 — Interruptor de segurança (I. S.) (o outro está também por detraz da coluna)
5 — Caixa de manobra
6 — Regulador de tempos «Seely»
7 — Caixa de comando
8 — Indicativos luminosos *E* e *B*
M_1 e M_2 — Manómetros

Rápido corresponde à escala de 20 a 100 m (slow).

Vejamos o seu funcionamento, atendendo ao esquema da fig. 15.

Logo que há tensão entre *1* e *4* (veremos adiante quando tal sucede) a bobina I é excitada levantando por intermédio duma alavanca a vareta V (v. fig. 13) a qual acciona mecânicamente os contactos I [1].

Deste modo se fornece corrente ao motor que arranca, e se excita a bobina II que corta o circuito de I. Apesar disso, os seus contactos mantêm a ligação, em virtude de a vareta já não poder descer de nível, pois a lingueta solidária a ela não pode já baixar, visto o disco indicador ter rodado, movido pelo motor.

É a variação de nível desta vareta devida às cames do disco que provoca a abertura ou fecho das válvulas que se encontram junto aos manómetros. Este ar comprimido irá, por sua vez, comandar as válvulas de admissão às prensas, como veremos adiante.

O emprego dum motor sincrono, justifica-se pela necessidade que há de manter a velocidade independente da carga. A carga representada aqui principalmente pela pressão da vareta sobre o disco indicador, varia com a pressão do ar comprimido.

O motor é monofásico possuindo o rotor magnetização permanente e dois enrolamentos desfazados no espaço.

O arranque consegue-se colocando-se em paralelo com um dos enrolamentos, um pequeno condensador que provocará na corrente que nele corre uma desfazagem no tempo. Cria-se assim um campo elíptico que provocará o arranque do motor.

O conjunto está encerrado num pequeno cofre, com janela de vidro, por onde se vê o disco graduado em percentagens.

O andamento do disco pode ser alterado rodando-o manualmente por meio duma chave. Tal é possível, porque ele possue uma «embraiage» de mola.

b) Caixa de comando

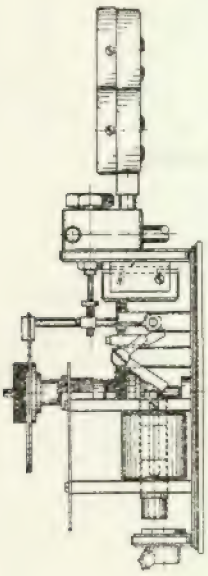
Nela se encontram os comandos do motor da prensa (v. fig. 15).

A alavanca de comando na posição *A* permite fazer o fecho e a abertura da prensa automàticamente, sob o comando do regulador de tempos, após se ter carregado no botão de arranque (start); na posição *M* o

[1] Em todos os esquemas, designaremos sempre com os mesmos símbolos das bobinas os contactos accionados por elas.

movimento da prensa só se executa por pressão continuada no botão de arranque.

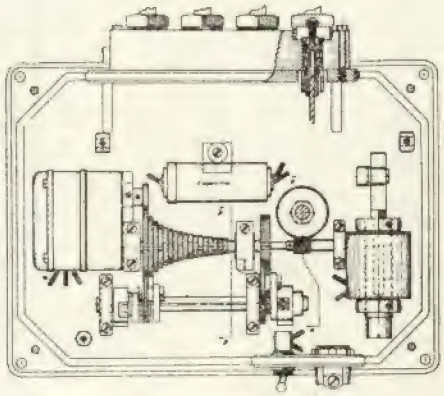
O comando de paragem (stop) permite estacar prontamente o movimento da prensa e o de inversão de marcha (reverse) fazer



O sinal luminoso vermelho (E) assinala a entrada em serviço do regulador de tempos e o branco, que a pressão, quer no exterior quer no interior do molde é zero.

Apesar de não pertencer à caixa de comandos, aproveitamos a ocasião para nos referirmos aos contactores L. M. e R. T. que se encontram situados sobre a carcassa do motor da prensa.

Eles são accionados por cames existentes no veio dos excêntricos.



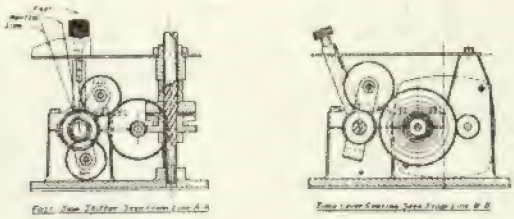


Fig. 13 — Pormenor do regulador de tempos «Seeyl»

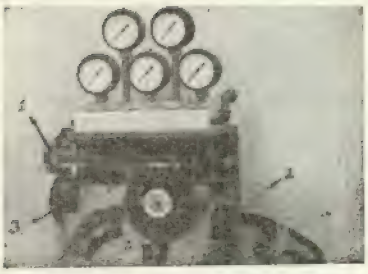


Fig. 14 — Vista do regulador de tempos
E este o modelo actualmente usado nas prensas e difere muito pouco do modelo desenhado na fig. 13
1 — Relais II. Notam-se os dois contactos duplos
2 — Relais I
3 — Motor síncromo

rodar o motor em sentido inverso ao provocado pelo botão de arranque (troca de duas fases).

c) Caixa de manobra

Contém as protecções e órgãos de manobra do motor da prensa (ver fig. 15).

A chave principal de accionamento manual,possue um sinal vermelho exterior à caixa indicando a sua posição.

As chaves RD. e RI. são accionadas pelos prórios núcleos das bobines, possuindo o relais de máxima um botão de religação exterior à caixa com a indicação: «Starter/motor».

IV — *Vulcanização*

Como já dissemos, são as operações que vão sujeitar a borracha a determinadas

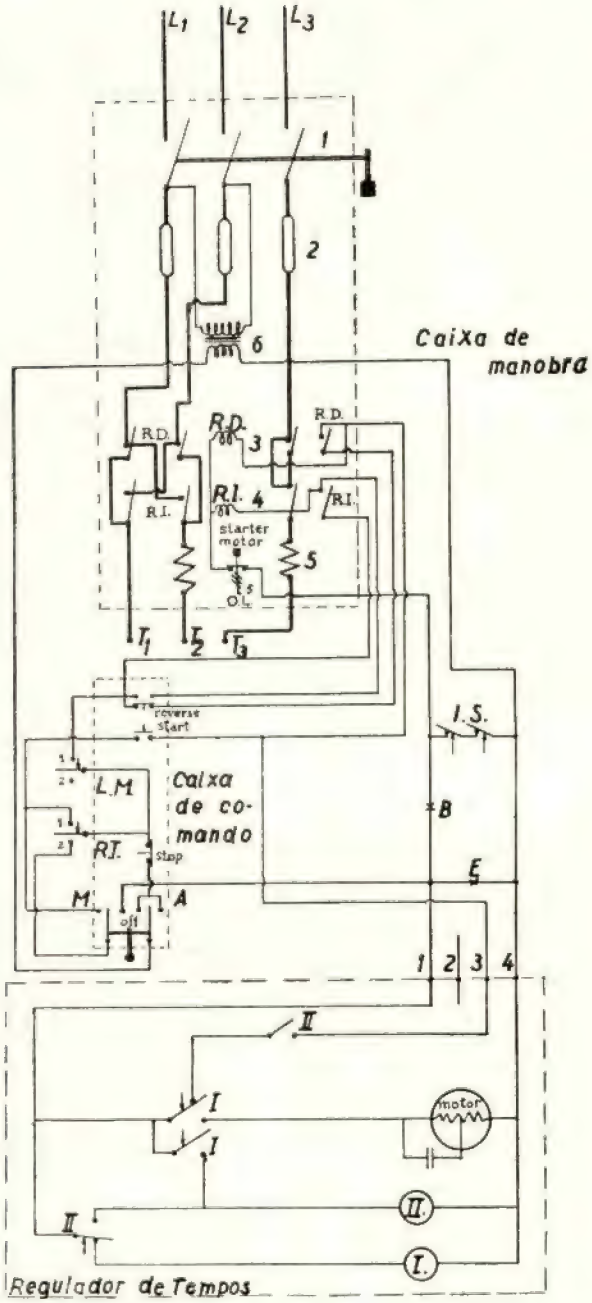


Fig. 15 — Esquema eléctrico do comando das prensas

1 — Chave principal com indicativo óptico de posição
2 — Fusíveis
3 — Interruptor magnético accionado por R D. com quatro contactos
4 — Idem, accionado por R. I.
5 — Relais de máxima
6 — Transformador 380/110 volts para alimentação do regulador de tempos
R. I. — Relais de marcha retrógrada
R. D. — Relais de marcha directa
Reverse — Botão de arranque para marcha retrógrada
OL — Relais para sobrecargas do motor. As suas 2 bobinas estão no circuito motor.
R. T. — Contactor do regulador de tempos
L. M. — Limitador de marcha
São ambos comandados mecânicamente por cames num veio comandado pelo movimento da prensa
A — Posição para funcionamento automático
M — Posição para funcionamento normal
Ofp. — Desligado
A — Lâmpada branca
I. S. — Interruptores de segurança. São accionados: um por pressão no interior do molde, outro por pressão no exterior do molde; só quando não há pressão nos dois locais é que B acende e a prensa pode levantar

condições de pressão e temperatura, de modo a torná-la no produto cujas propriedades são por nós bem conhecidas. Do cuidado e conhecimentos técnicos postos nesta operação resulta a boa ou má qualidade da borracha.

a) Cintas («flaps»)

São designadas assim as tiras de borracha que protegem a câmara de ar do contacto com o aro da roda.

Nas tubuladoras são moldadas fitas de borracha (em «verde», isto é, sem ter sido vulcanizada) cortadas depois em tiras de determinado comprimento.

Estas tiras, noutra secção, ficam com os extremos cortados e unidos, formando-se assim aros de borracha que passam só então para a secção de vulcanização.

Uma vez colocadas nos moldes de metal são cobertos com uma cinta já vulcanizada que o encosta bem à superfície do molde, evitando também que o vapor sob pressão o faça deslocar dele.

Colocam-se em geral dois moldes de cada vez no interior da prensa, fechando-a e introduzindo-lhe no interior, vapor à temperatura necessária.

No início desta operação se a prensa está fría demora um certo tempo a conseguir-se ter no interior a pressão de 40 Lb (2,8 kg/cm^2), pois é grande o número de calorias perdidas no aquecimento das paredes.

É nesta fase que, devido à grande quantidade de água condensada, se torna útil o escoadouro, já citado atrás, com válvula de retenção do vapor.

Ao fim do tempo necessário retira-se o vapor e abre-se a prensa. Está pronta a cinta.

b) Sacos de vulcanização

São estes sacos, com uma secção absolutamente igual à secção interior do pneu, destinados a comprimi-los contra o molde.

Por meio de várias operações, o tubo de borracha recebido da tubuladora é fechado sobre si mesmo, formando um saco com a forma indicada na fig. 15. As suas dimensões variam conforme o tipo de pneus a obter com eles. Em pontos diametralmente opostos colocam-se dois tubos aos quais se aparafusam umas caixas destinadas a fazer a ligação com os tubos da prensa.

Uma tem um + gravado indicando que é nela que se encontra o sifão. Veremos adiante a necessidade disso.

Fig. 16 — Saco de vulcanização

Note-se no lado direito o sifão com manga maleável

Coloca-se cuidadosamente no molde próprio o saco que se enche um pouco, com ar, para se tornar mais fácil o ajustamento. Da má colocação do saco no molde pode até resultar a sua inutilização quando da vulcanização. Liga-se o tubo de admissão a uma das entradas do saco e fecha-se a prensa.

Nas operações de vulcanização dos sacos que vamos citar a seguir não se emprega o comando automático, colocando-se a alavanca da caixa de comando na posição *M* e fazendo rodar o disco por meio da chave, de modo a fazer as diversas admissões.

1 — Faz-se a admissão de ar comprimido a alta pressão no interior do saco. Aguarda-se, até que o manómetro M_1 (pressão no interior do saco) acuse pressão. Deste modo o saco é comprimido fortemente contra o molde.

2 — Introduz-se exteriormente ao molde vapor a baixa pressão e espera-se até que a pressão suba ao valor indicado.

Em virtude das perdas em condensação demora um certo tempo esta fase.

3 — Espera-se, a partir do momento em que M_2 (pressão no exterior do molde) acuse a pressão de serviço. Deste modo a borracha é vulcanizada pelo calor fornecido ao molde pelo vapor e toma a forma deste, devido à pressão que o ar comprimido exerce sobre o seu interior.

4 — Fecha-se o vapor — no final do período atrás indicado — e abre-se uma válvula de saída para o mesmo.

5 — Fecha-se o ar comprimido e abre-se a válvula de saída.

Só então se carrega no botão «start» para abrir a tampa e retirar o saco.

Para o fabrico de novos sacos é necessário deixar arrefecer a prensa, pois, no caso contrário, ao colocar outro no molde começa a pegar-lhe em diversos pontos e estraga a borracha.

Para que a demora não seja grande, costuma-se baixar a tampa até quase fechar a caixa e introduzir água pelo aspergidor existente no centro da tampa.

Estes sacos assim preparados conseguem aguentar muitas vulcanizações de pneus.

Logo que a sua superfície, em virtude do calor grande a que estão sujeitos, começa a tornar-se defeituosa, tem de ser reparada. Se não aguentarem as reparações serão mesmo retirados do serviço.

c) Pneus

Nesta secção o futuro pneu é recebido sob a forma duma superfície cilíndrica, formada por telas e borracha.

Conhece-se bem, a meio, o piso pela maior quantidade de borracha que sobressai.

Temos agora, não só de dar-lhe uma forma que possa ser ajustável ao molde, como introduzir-lhe dentro o saco de vulcanização.

Esta operação é executada numa máquina cilíndrica com uma coluna central de comando hidráulico que comprime a forma do pneu, ao mesmo tempo que à sua volta se faz o vazio. Antes de terminar, o saco de vulcanização é colocado ao alto, num plano perpendicular ao da máquina e obrigado a entrar por pressão da coluna central, também accionada hidràulicamente (veja-se desenho esquemático).

Depois disto enche-se o saco com um pouco de ar e tapam-se as válvulas com tampões de borracha.

Fica, desta maneira, o pneu pronto a ser colocado na prensa. Na colocação deste tem de se ter em atenção o sinal indicativo da posição do sifão.

Este deve ser ligado à válvula da saída da prensa (a do fundo). Deste modo é possível que a água contida no saco durante uma das fases da vulcanização seja totalmente extraída pela pressão do ar comprimido.

Uma vez bem ajustado o pneu ao molde, liga-se a chave 1, coloca-se o comando na posição *A* e carrega-se no botão de arranque (ver esquema completo das ligações na figura 15).

Deste modo a tensão *v* aos terminais do secundário do transformador (6) é aplicada à bobina R. D. que, atraindo o seu núcleo, fecha os respectivos contactos com ele solidários, tornando-se desnecessário premir mais o botão de arranque e fornecendo corrente trifásica ao motor da prensa.

Notemos que isto passa-se assim porque os interruptores de segurança (I. S.) estão ambos fechados ([1]); o limitador de marcha (L. M.) encontra-se na posição 2 (premido por uma came de comando, já mencionada atrás) e R. T. na posição 1 ([2]).

O motor arranca e logo a came de comando roda, permitindo que L. M. tome a posição *1*. Só a partir desta altura se torna desnecessário carregar no botão de arranque e é possível carregando no botão de inversão de marcha («reverse») fazer com que a tampa recue ([3]). Este botão quando accionado, desliga R. D. e excita R. I., o que troca duas fases na ligação do motor provocando uma inversão de marcha. Só actua por pressão continuada.

Na prática o fecho completo da prensa faz-se com três ou quatro paragens para evitar trilhar em qualquer ponto a borracha. Logo que a tampa assenta sobre a base, fechando, assim, no seu interior, o molde, as cames de comando vão premir

---

([1]) Não há ainda pressão nem dentro nem fora do molde.

([2]) Já vimos que, para este se dar, a prensa tem de estar na posição extrema do recuo.

([3]) A necessidade desta precaução, estranha à primeira vista, é a seguinte: Como a prensa fecha sempre, quer o motor rode num sentido quer neutro, só variando devido aos excêntricos, a posição da tampa durante a operação, pretende-se evitar que o operário, por negligência, vá premir inicialmente o botão de inversão em vez do botão de arranque.

L. M. e R. T. colocando-os na posição 2. Desta maneira L. M. tira a excitação a R. D. que desliga imediatamente o motor [1] e R. T. estabelece a tensão *v* entre os terminais *1* e *4* do regulador de tempos. Nesta altura acendem-se as luzes branca e vermelha.

Simultâneamente, a parte superior da prensa, por encosto, abre a válvula de ar comprimido (ver fig. 12 — n.º 1) o qual é introduzido através dum filtro no tubo do manómetro do regulador de tempos. Vejamos, a partir deste momento, o que se passa:

1.º — A vareta sobe em virtude da acção da bobina I e o disco começa a girar accionado por um motor sincrono, como já foi dito.

2.º — A lingueta encontra a primeira came (disco de recorte apropriado rodando solidário com o disco indicador) obrigando os pernos de que está provida a vareta, a abrir as válvulas de ar comprimido, o qual actuando sobre as válvulas de admissão, introduz no saco de vulcanização *vapor a alta pressão.*

Este vapor expulsa do interior do saco todo o ar.

Apaga-se a luz branca logo que a pressão começa a subir, devido à acção de I. S.

Os manómetros do regulador indicam-nos a pressão do ar comprimido aplicado às válvulas e M_1 e M_2 a pressão, respectivamente, no interior e exterior do molde.

3.º Passado alguns momentos [2] a lingueta torna a subir de nível, abrindo a válvula referente ao segundo manómetro. O ar comprimido admitido vai cortar a entrada do vapor de modo a dar admissão no interior do saco à *água quente a alta pressão* com circulação (ver II — Instalação de distribuição). Esta água vai premir fortemente as paredes do saco e, portanto, o pneu contra o molde.

4.º No encontro da lingueta com a segunda came, abre-se a válvula referente a outro manómetro, o que leva o ar comprimido a actuar sobre a válvula de admissão no espaço exterior ao molde, a *vapor a baixa pressão.*

A grande quantidade de calor transmitida pelo vapor através do molde ao pneu, conjugada com a elevada pressão que ele sofre por parte do saco obriga-o a vulcanizar tomando a forma do molde.

5.º Uma outra came obriga, passado algum tempo, a abrir ainda outra válvula. O ar comprimido vai então cortar o circuito de água quente e a entrada de vapor a baixa pressão ao mesmo tempo que abre as válvulas de entrada e saída da água fria para o interior do saco que o vai arrefecer.

6.º Perto já do final da rotação completa do disco indicador, descai a lingueta o suficiente para fechar todas as válvulas do regulador de tempos, excepto a última, que leva à admissão de ar comprimido no interior do saco expulsando toda a água fria.

7.º Terminada esta rotação completa, a lingueta cai na cava inicial obrigando a vareta a desligar os contactos I que param o motor do regulador e fazem a ligacão entre 1 e 3, obrigando assim o motor da prensa a arrancar [1], pois R. D. é excitado.

As cames de comando deixam de actuar sobre L. M. e R. T., fazendo-os regressar à posição *1.*

Desta maneira L. M. continua a alimentar R. D. pois, se assim não acontecesse, R. T. [2] desligando o regulador, implicitamente fazia parar o motor da prensa como fàcilmente se pode constatar.

Logo que a prensa, seguindo o movimento de abertura chega à posição extrema de recuo, uma das cames de comando actua sobre L. M. (leva-o à posição 2), parando imediatamente o motor da prensa.

Fica, assim, a prensa pronta a servir para vulcanização de outro pneu.

---

(1) Os núcleos desta bobina são muito leves e ajustáveis de modo a permitir grande rapidez de manobra.

(2) Já vimos que estes intervalos de tempo são regulados pela colocação de discos metálicos ligados ao disco indicador. As indicações referentes a este assunto vêm do Laboratório de ensaios.

(1) Acção idêntica à do botão de arranque que quando R. T. passa à posição 2, deixa de ter acção. Notemos que isto só se dá com a alavanca de comando na posição A e os I. S. fechados, sinal de que não há pressão dentro da prensa.

(2) Com R. T. nesta posição já o «Start» pode actuar

Durante a vulcanização podemos conhecer todas as condições no interior da prensa pela leitura das pressões nos manómetros M_1 e M_2.

O tempo de vulcanização dum pneu é muito variável conforme o número de telas, qualidade de borracha, diâmetro, uso, etc., mas está compreendido entre 45 minutos a 1 hora para pneus, respectivamente, de 4 a 6 telas.

V — Produção

Tem esta secção prensas, trabalhando umas com moldes para sacos e outras com moldes para pneus, podendo dar uma produção, aproximadamente, de mais de 300 pneus em 24 horas.

As prensas, como vimos, pela perfeição dos dispositivos que dispõem, são já uma garantia na qualidade da produção.

Elas, porém, só por si não bastavam, se não fosse a assistência técnica constante do Laboratório de ensaios.

Todo o primeiro pneu que se fabrica dum determinado tipo é cortado para exame das suas medidas assim como para ensaios no Laboratório.

Durante a sua vulcanização são efectuadas medidas periódicas de temperatura entre as diversas telas e em vários outros pontos do interior e exterior do molde por meio de pares termo-electricos ([1]), assim como são assinaladas as pressões indicadas por M_1 e M_2. Só depois do exame no Laboratório se passa à produção contínua, pelas indicações fornecidas daí.

Ao fim dum certo número de pneus deste tipo, torna-se a retirar um para ensaio e confronto das suas medidas com o tipo inical.

O Laboratório indicará então — se as houver — as alterações a fazer no fabrico.

([1]) Usa-se um vulgar galvanómetro com escala equivalente em graus.

ACABA DE APARECER:

TOPOGRAFIA GERAL

PELO ENG.º CARVALHO XEREZ

MUTADOR EM RÁDIO-EMISSÃO

POR FERNANDO FRANCO FEIJÓO
(DO CURSO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA)

D. C. 621 396

O trabalho apresentado faz parte dum tirocínio na Estação de Alferragide da Companhia Portuguesa Rádio Marconi.

Não pretende expor novidade alguma sobre teoria e construção de «mutadores». Por me parecer, contudo, assunto de interesse e ainda entre nós pouco divulgado, irei tratá-lo, se bem que em breves traços, e num caso muito particular — rádio emissão.

Introdução. Generalidades

Os mutadores definem-se, com toda a generalidade, como unidades de transformação de corrente eléctrica de dada natureza em corrente doutra natureza, com outro número de fases ou com outra frequência.

Este processo de transformação afasta-se dos processos clássicos dos grupos motor-gerador e das comutadoras, fundando-se no funcionamento de válvulas electrónicas rectificadoras com ou sem grelhas polarizadas.

Já na Exposição Nacional Suíça, realizada em Berne em 1914, a Brown Boveri apresentou um dos seus primeiros mutadores de 150 kW e 500 volts (contínua). E, a partir desta data, os trabalhos de investigação intensificaram-se de tal modo — com o emprego de bobines de absorção, elevação de potência, introdução de grelhas polarizadas etc. — que em 1939 (vinte e cinco anos após a Exposição de Berne) efectuava-se a primeira transmissão de energia em corrente contínua a 50 kV com o emprego de mutadores de tina metálica entre a Central de Wettingen e a Exposição Nacional de Zurich (a uma distância de 30 km). Voltava-se, por assim dizer, à transmissão clássica em corrente contínua, sistema Thury, eliminando-lhe contudo grande parte dos seus inconvenientes. Com o emprego de mutadores a corrente alterna é transformada em contínua na central, e efectua-se transformação inversa na extremidade da linha, e isto para simplificar a distribuição de energia.

A corrente contínua de muito alta tensão permite efectuar a transmissão de energia a grande distância nas melhores condições — grande economia na instalação da linha.

Não vou expor com detalhe as vantagens e inconvenientes — também não poderiam deixar de existir — do sistema de transmissão de energia em corrente contínua e em alta tensão. Na realidade não é essa a finalidade do meu trabalho. Tendo porém na minha frente a separata da revista «Brown Boveri» em que vêm mencionados, faço a transcrição por me parecer de interesse.

a) Vantagens do sistema corrente contínua:

1 — Supressão das quedas de tensão indutiva e capacitiva.
2 — Não necessita de compensadores de fase pela própria natureza da corrente.
3 — Eliminação do efeito pelicular.

4 — As perdas por efeito de Joule R I nas linhas de transporte são em corrente contínua ligeiramente menores que em corrente alterna. Com efeito, considera-se a resistência a dada frequência ligeiramente maior que em corrente contínua.

5 — Para um mesmo isolamento, uma linha de corrente contínua pode ser posta em serviço a uma tensão aproximadamente 40 % superior à duma linha de corrente alterna.

6 — Como o mutador (c. a. — c. c.) permite efectuar a conversão duma corrente de qualquer frequência, é possível fazer trabalhar em funcionamento contínuo alternadores com velocidade variável correspondendo sempre aos melhores rendimentos.

b) Inconvenientes do sistema corrente contínua (dificuldades a resolver):

1 — A corrente contínua não permite transmitir potência reactiva, e portanto a que a rede pede deve ser fornecida por máquinas síncronas que regulam simultâneamente a frequência.

2 — Dificuldade de construção de disjuntores para corrente contínua de muito alta tensão.

Ao compararmos as numerosas vantagens e apenas os dois inconvenientes citados, seríamos levados a concluir que a maneira mais prática e económica de se fazer o transporte de energia eléctrica, a distância, seria em corrente contínua e com o emprego de mutadores.

Não nos precipitemos. Com efeito, em Outubro de 1941 — dezanove meses apenas após a publicação da separata «Mutateurs Brown Boveri» — a revista da mesma Companhia apresenta um artigo intitulado «Comparaison du coût de transmission d'énergie à grande distance par courants alternatif et continu». Neste artigo em que se entra em linha de conta com diversos factores económicos — preço de instalação, utilização anual de transmissão em plena carga, amortizações, etc. — chegamos à seguinte conclusão fundamental:

A partir de 200-500 km a corrente contínua é mais vantajosa que a alterna trifásica para linhas aéreas de transporte, independentemente da potência transportada. Apesar disso, a afirmação não tem um valor absoluto, existindo uma zona de indeterminação em que os dois sistemas de transporte são equivalentes sob o ponto de vista económico.

Mais tarde, em Setembro de 1945 a Brown Boveri apresenta em número especial da sua revista «Transmission d'energie par courant continu», os resultados de estudos sobre o assunto, que fundamentalmente se identificam com as conclusões anteriormente tiradas, fazendo ainda algumas considerações sobre cabos de alta tensão para corrente contínua, disjuntores, etc.

Apresentei em primeiro lugar o papel representado pelos mutadores no transporte de energia eléctrica a distância. Mas as aplicações do «mutador» são hoje em dia variadíssimas e creio que o seu campo de acção pouco a pouco se irá ampliando. Vejamos outras aplicações de interesse:

— *Tracção eléctrica.* Emprega em funcionamento normal um mutador alterno-contínuo permitindo uma recuperação de energia nas frenagens. A energia gerada na frenagem não é utilizada pelas locomotivas ascendentes; é lançada numa linha trifásica.

Pode-se empregar dois géneros de recuperação em instalações de tracção:

a) mutador contínuo-alterno paralelamente ao mutador alterno-contínuo;

b) mutador com possibilidade de comutação: contínuo-alterno para alterno-contínuo.

— *Laminadores.* Tratando-se de máquinas com inversão periódica de marcha, frenagens, etc., devemos usar dois mutadores em ligação cruzada para os dois sentidos de marcha — um contínuo-alterno e outro alterno-contínuo.

— *Redes eléctricas de corrente alterna.* Emprega-se o mutador alterno-alterno, considerando-se dois casos de grande importância:

a) Mutador trifásico-monofásico

Supondo que temos uma rede trifásica normal e pretendemos uma tensão monofásica. É claro que podíamos empregar uma só fase dando origem a grande desiquilíbrio. É o caso por exemplo dum forno eléctrico monofasado de Miguet, ou de uma instalação monofásica de tracção (em que se pretende obter uma tensão monofásica de frequência $16\,^2/_3$ Hz à partir duma trifásica de 50 Hz).

Com o emprego dum mutador trifásico-monofásico podemos resolver o problema dum modo elegante. A ligação poder-se-á fazer obtendo uma carga constante e simétrica na rede trifásica e provocando uma pequena deformação nas curvas de corrente e de tensão quer na rede trifásica quer na monofásica.

b) Mutador trifásico-trifásico

Pretende-se ligar duas redes trifásicas independentes com tensões e frequências diferentes. Podemos fazer esta operação com o emprego de dois mutadores (trifásico-contínuo e contínuo trifásico) ou ainda com um mutador apenas (trifásico-trifásico).

Série de Mutadores Brown Boveri de grande débito, em serviço numa fábrica canadiana de alumínio

Esta fábrica conta 30 mutadores com uma potência global de 96.000 kW, 600 V, 160.000 A. Trata-se de mutadores de 24 ânodos, arrefecidos por circulação de água, que já prestaram provas em grande número de instalações de electroquímica e electrometalurgia.

E, para terminar estas considerações gerais sobre mutadores, apresento as vantagens que mais me parecem dignas de nota — transcritas da separata a que já me referi.

1 — Rendimento elevado.

O rendimento (em tensão) dum mutador é dado pela expressão

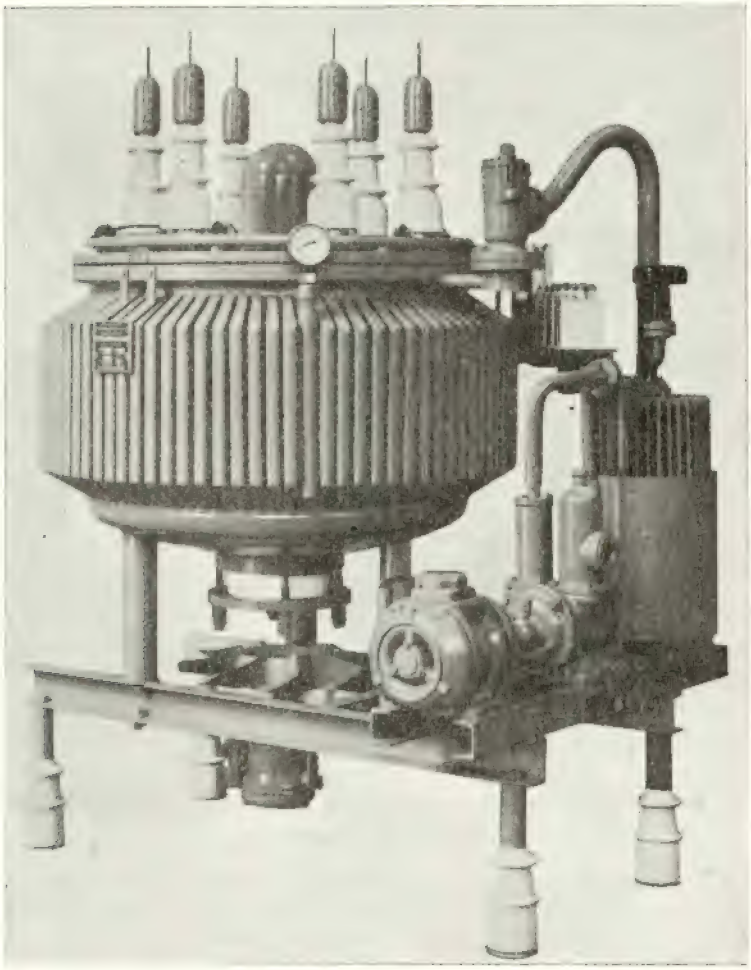
$$\mu = \frac{v}{v + \varepsilon}$$

em que

v = valor da tensão contínua
ε = queda de tensão no interior da célula

2 — Insensibilidade a curto-circuitos.
3 — Arranque e ligação em paralelo rápido e prestando-se a comando a distância e a serviço automático.
4 — Sistema estático de elevada potência específica.
5 — Funcionamento silencioso.

E, entrando em linha de conta com as condições geográficas e económicas do nosso país, parece-me o emprego dos mutadores



Mutador Brown Boveri de alta tensão, para postos emissores

Potência..... 600 kW
Tensão contínua 22 kV

O rendimento é elevado em virtude de ε tomar valores pequenos ($\simeq$ 20 Volt) e será tanto mais elevado quanto maior a tensão com que se trabalha.

entre nós de especial interesse nos seguintes casos:

tracção eléctrica
metalurgia e electroquímica
rádio emissão

Considerações teóricas

O mutador, que adiante se descreve, desempenha um papel de rectificador hexafásico com grelhas polarizadas, empregando, como substância catódica, o mercúrio.

O funcionamento dum rectificador deste tipo difere grandemente duma lâmpada rectificadora de vácuo.

Nos rectificadores de vapor de mercúrio, sob a acção da energia cinética dos electrões que partem do cátodo incandescente, as moléculas de mercúrio ionizam-se, dando origem a iões positivos que, em presença de electrões, dão um efeito de campo nulo. Deste modo, não se dá a limitação de corrente pela carga de espaço, como acontece nos diódios de vácuo.

Consideremos a característica dum diódio de vapor de mercúrio em que representamos em abcissas as tensões de placa e em ordenadas a corrente anódica (fig. 1).

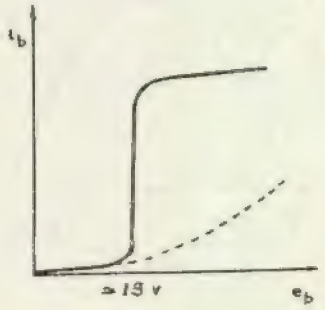


Fig. 1

Três zonas distintas se apresentam:

Uma para $e_b < 15$ V, em que a velocidade dos electrões é pequena e logo insuficiente para provocar a ionização das moléculas de vapor de mercúrio (tudo se passa como nos diódios de vácuo); outra para $e_b \simeq 15$ V, em que se verifica a ionização e consequente neutralização da carga de espaço — a corrente sobe então bruscamente até atingir o patamar de Richardson, que representa a terceira zona, correspondente à emissão electrónica total do cátodo.

No caso estudado, verifica-se um tipo de «descarga por arco» — a corrente não é formada apenas por electrões mas ainda por iões positivos e a emissão de electrões é caracterizada por uma mancha incandescente na superfície do cátodo (mancha catódica) da qual as partículas de matéria catódica são vaporizadas e lançadas com muito alta velocidade (da ordem de 20.000 cm/seg.).

Os iões positivos — caminhando em sentido contrário aos electrões — caem sobre a mancha catódica e, pelo seu bombardeamento contínuo, mantêm a temperatura ao alto valor correspondente ao estado de incandescência.

Antes que se estabeleça a corrente de arco, é necessário provocar por meios exteriores a incandescência da mancha catódica, o que se faz utilizando um pequeno arco auxiliar entre o cátodo e um eléctrodo de ignição especialmente construído para esse fim. A válvula toma neste caso particular o nome de «ignitrão». Para impedir que a mancha catódica se extinga quando não houver carga, um pequeno arco, chamado arco de excitação, está contìnuamente a saltar entre o cátodo e uns eléctrodos auxiliares chamados ânodos de excitação.

Rectificação hexafásica

Consideremos em primeiro lugar a rectificação hexafásica efectuada por diódio. Mais adiante, tratar-se-á do papel desempenhado pelas grelhas na regulação da tensão rectificada.

Sejam e_1 a e_6 os valores instantâneos das tensões por fase do secundário do transformador hexafásico, tensões que vão ser aplicadas aos seis diódios que constituem o mutador (fig. 2).

Supondo tensões de entrada sinusoidais puras, a forma da curva da tensão rectificada é a indicada a traço cheio. (fig. 3) — cada diódio trabalha separadamente em intervalos de tempo sucessivos e nunca simultâneamente.

a) *Relação de tensões*

No caso dum sistema rectificador teórico de n fases em que a tensão aplicada de

amplitude E tem por período T, cada ânodo debita durante um tempo $\frac{T}{n}$.

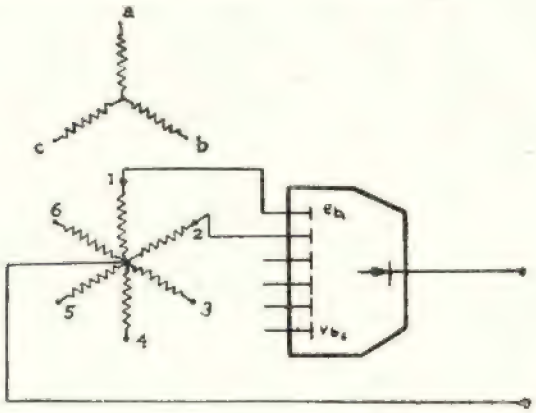


Fig. 2

Para fazer o cálculo do valor médio de *e* durante este intervalo, supõe-se da forma $e = E \cos \alpha$ em que α varia entre $-\frac{\pi}{n}$ e $+\frac{\pi}{n}$ (fig. 4).

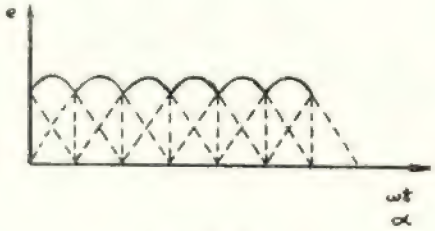


Fig. 3

O valor médio será:

$$E_o = \frac{n}{T} \int_o^{\frac{T}{n}} E \cos \alpha \, d\alpha$$

$$= \frac{n}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{n}}^{+\frac{\pi}{n}} E \cos \alpha \, d\alpha = \frac{n}{2\pi} E \left[\operatorname{sen} \alpha \right]_{-\frac{\pi}{n}}^{+\frac{\pi}{n}}$$

$$\boxed{E_o = \frac{n}{\pi} E \operatorname{sen} \frac{\pi}{n}} \quad (1)$$

E, para valor eficaz da tensão alternada sinusoidal $E_{ef} = \frac{E}{\sqrt{2}}$

$$\boxed{E_o = \frac{n}{\pi} E_{ef} \sqrt{2} \operatorname{sen} \frac{\pi}{n}} \quad (2)$$

Fazendo o desenvolvimento em série de Fourier da curva representativa da tensão *e*:

$$e = E \frac{n}{\pi} \operatorname{sen} \frac{\pi}{n} \left[1 - (-1)^k \times 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos n K \omega t}{K^2 n^2 - 1} \right] \quad (3)$$

A frequência do termo fundamental é pois n vezes a da tensão alternada inicial.

No caso particular estudado para $n = 6$ obtém-se:

$$E_o = 1{,}35 \, E_{ef}$$

$$e = E(0{,}955 - 0{,}0546 \cos 6 \, \omega t + 0{,}01335 \cos 12 \, \omega t - \ldots)$$

b) *Relação de correntes*

Considera-se um caso ideal em que o rectificador fornece um corrente contínua pura — é aliás o que se pretende com os sistemas de filtragem.

A corrente de saída é a soma total das

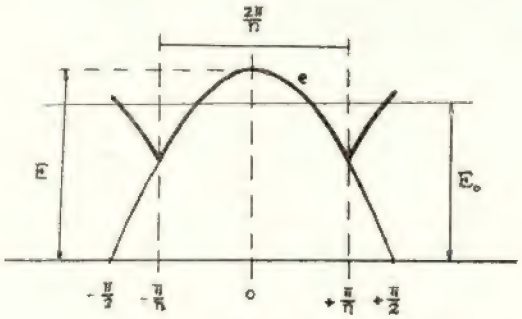


Fig. 4

sucessivas correntes de fase, e portanto admite-se que a corrente de entrada de cada fase tem forma rectangular (fig. 5).

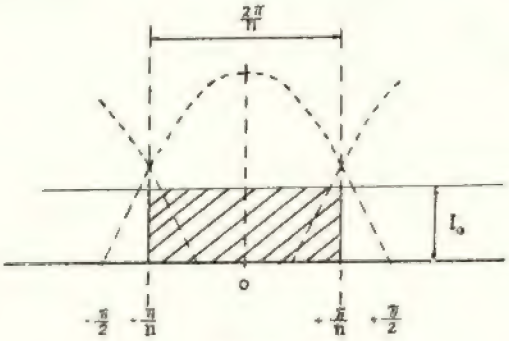


Fig. 5

Podemos decompor a equação da curva numa harmónica fundamental e noutras

componentes, sendo estas funções cosinusoidais do tipo $a_k \cos k\alpha$ em que α varia entre $-\frac{\pi}{n}$ e $+\frac{\pi}{n}$.

O valor médio da corrente debitada por cada anódio será $\frac{I_o}{n}$, e o valor eficaz é dado por:

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_{-\frac{\pi}{n}}^{+\frac{\pi}{n}} I_o^2\,d\alpha}$$

$$\boxed{I_{ef} = \frac{I_o}{\sqrt{n}}} \quad (4)$$

Conhecidas as relações de tensão e de corrente, pode definir-se um «factor de utilização do rectificador», comparando entre si as potências de entrada e de saída.

A potência fornecida ao rectificador (potência aparente) é dada por $P_a = n\,E_{ef}\,I_{ef}$ e a potência equivalente de saída será $P = E_o\,I_o$.

Chama-se «factor de utilização» à relação $U = \frac{P}{P_a}$.

Indica-nos o grau até o qual o rectificador é capaz de utilizar e converter a energia que lhe é fornecida.

Temos

$$U = \frac{P}{P_a} = \frac{E_o\,I_o}{n\,E_{ef}\,I_{ef}} = \frac{n}{\pi}\,\frac{E_o\,I_o\sqrt{2}}{n\,E_o\,\frac{I_o}{\sqrt{n}}}\,\text{sen}\,\frac{\pi}{n}$$

$$U = \frac{\sqrt{2n}}{\pi}\,\text{sen}\,\frac{\pi}{n}$$

ou

$$\boxed{U = \sqrt{\frac{2}{\pi}\,\frac{\text{sen}\,\theta}{\sqrt{\theta}}}} \quad (5)$$

para

$$\theta = \frac{\pi}{n}$$

c) *Efeito da reactância do transformador*

Ao calcular o valor médio da tensão rectificada não se entrou em linha de conta com o efeito indutivo do enrolamento do transformador.

Na maioria dos casos práticos, podemos em geral desprezar a reactância, mas com mais rigor temos que a considerar e, é claro, que o seu papel é de inércia magnética.

A auto-indução, tendendo sempre a opor-se a variações bruscas de corrente, não permite que a corrente anódica tome a forma da fig. 6-b, mas sim a da fig. 6-c.

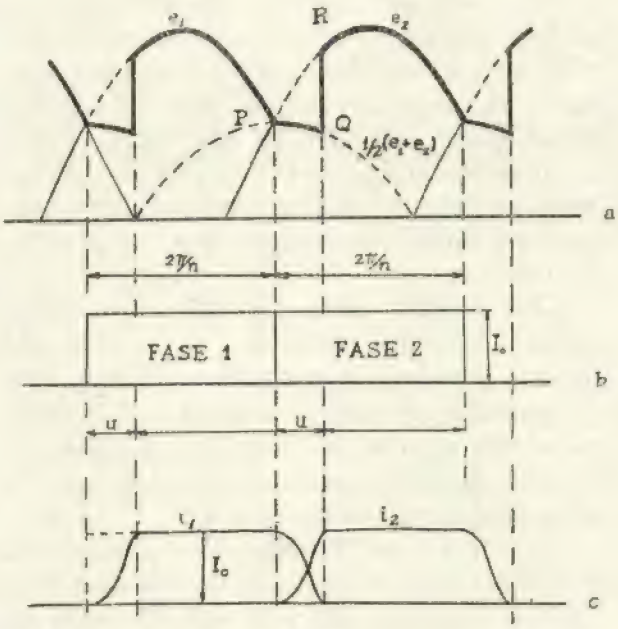


Fig. 6

A forma da curva da tensão vem indicada na fig. 6-a. O anódio 1 transporta toda a corrente contínua I_o até que o ponto P é atingido no ciclo de tensão, quando $e_1 = e_2$.

Devido ao efeito indutivo o arco não muda imediatamente e o anódio 1 continua a fornecer corrente.

Durante certo intervalo de tempo os anódios conservam o mesmo potencial $\frac{1}{2}(e_1 + e_2)$. É neste intervalo de tempo que a corrente anódica i_1 desce gradualmente até zero, enquanto i_2 cresce simultâneamente até atingir I_o. No instante em que isto se verifica, correspondente ao ponto Q, a tensão do anódio 2 salta do valor $\frac{1}{2}(e_1 + e_2)$ para o valor e_2 correspondente ao ponto R.

O ângulo *u*, indicado na figura e que

corresponde ao intervalo de tempo dito de cobertura, chama-se ângulo de cobertura (angle of overlap).

O fenómeno de «overlap» é simples de compreender. Com efeito, no instante correspondente a $e_1 = e_2$ os anódios 1 e 2 estão ligados simultâneamente ao cátodo e portanto formam uma malha entre as correspondentes fases do secundário do transformador. Produz-se uma corrente de curto circuito crescente, que circula na malha em sentido oposto à corrente contínua fornecida pelo anódio 1, e vai fazer com que esta deminua progressivamente. Mas, em relação ao anódio 2, esta corrente de circulação tem o mesmo sentido da corrente contínua, resultando pois que a corrente fornecida por esse anódio aumenta durante o período de «overlap».

Este estado verifica-se até que o valor instantâneo da corrente de circulação atinge o valor da corrente contínua prèviamente fornecida pelo anódio 1 e nesse momento a corrente desse anódio anula-se, o arco apaga-se, passando o anódio 2 a transportar toda a corrente I_o.

Ao considerar o efeito de reactância do transformador, vemos imediatamente que se operou uma redução na tensão de saída do rectificador.

Tomando para origem o instante em que $e_1 = e_2$ podemos exprimir o valor médio da tensão rectificada por:

$$E_o = \frac{n}{T} \int_o^{\frac{T}{n}} e \, dt$$

$$= \frac{n}{2\pi} \left[\int_o^u \frac{1}{2} (e_1 + e_2) \, d\alpha + \int_u^{\frac{2\pi}{n}} e_2 \, d\alpha \right]$$

$$= \frac{n}{2\pi} E \left\{ \int_o^u \frac{1}{2} \left[\cos\left(\alpha + \frac{\pi}{n}\right) + \right.\right.$$

$$\left. + \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{n}\right) \right] d\alpha +$$

$$\left. + \int_u^{\frac{2\pi}{n}} \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{n}\right) d\alpha \right\}$$

$$= \frac{n}{2\pi} E \left[\cos\frac{\pi}{n} \operatorname{sen} u + \operatorname{sen}\frac{\pi}{n} - \right.$$

$$\left. - \operatorname{sen}\left(u - \frac{\pi}{n}\right) \right]$$

$$= \frac{n}{2\pi} E \left[\operatorname{sen}\frac{\pi}{n} (1 + \cos u) \right]$$

$$E_o = \frac{n}{\pi} E \operatorname{sen}\frac{\pi}{n} \cos^2\frac{u}{2} .$$

Chamando $E_{o_v} = \frac{n}{\pi} E \operatorname{sen}\frac{\pi}{n}$ ao valor médio da tensão quando se despreza o efeito de reactância, temos

$$\boxed{E_o = E_{o_v} \cos^2\frac{u}{2}} \quad (6)$$

Podemos considerar uma queda de tensão de saída devida à reactância dada por:

$$\boxed{\varepsilon_r = E_{o_v} \operatorname{sen}^2\frac{u}{2}} \quad (7)$$

O ângulo de «overlap» u é função da carga do rectificador, isto é, da corrente de saída. Evidentemente que para $I_o = o$ (rectificador em vazio) $u = o$ e logo

$$E_o = E_{o_v} \quad \text{e} \quad \varepsilon_r = 0$$

d) *Efeitos das quedas de tensão no arco e na resistência do transformador*

Entrando em linha de conta com as perdas no transformador e com a queda de tensão no arco podemos escrever:

$$E_o = E_{o_v} - \varepsilon_r - \varepsilon_t - \varepsilon_a \quad (8)$$

em que

E_{o_v} — tensão em vazio
ε_r — queda de tensão reactiva
ε_t — queda de tensão óhmica
ε_a — queda de tensão no interior da célula.

Considera-se ε_a como a soma das quedas de tensão no cátodo, nos ânodos e pròpriamente no arco.

$$\varepsilon_a = \varepsilon_c + \varepsilon_{an} + \varepsilon_{ar} \quad (9)$$

ε_c e ε_{an} têm características positivas, isto é, aumentam com a corrente, mas o seu valor absoluto é bastante pequeno. A queda de tensão no arco ε_{ar} tem característica negativa — deminue quando a corrente aumenta — porque, aumentando a corrente, aumenta a vaporização do mercúrio e o bombardeamento atómico torna-se mais intenso.

Em virtude do comprimento do arco ser grande, a queda de tensão nele dá o valor mais importante para a queda de tensão no interior da célula que portanto é decrescente com a carga.

O rendimento em tensão do grupo transformador rectificador será dado por

$$\mu = \frac{E_o}{E_{c_v}} = \frac{E_o}{E_o + \varepsilon_r + \varepsilon_t + \varepsilon_a} \quad (10)$$

Rectificação com grelha de control

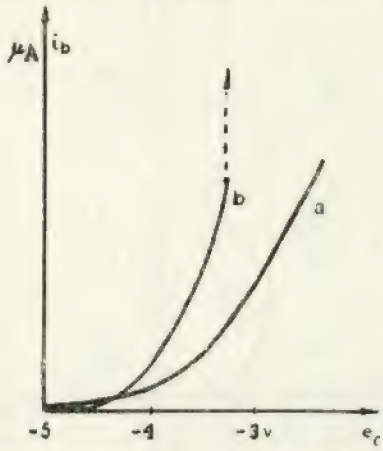
A introdução duma grelha de control num rectificador de vapor de mercúrio tem por objectivo fazer variar o valor da tensão rectificada, regulando o tempo durante o qual a corrente flue em cada ciclo.

Para valores da tensão de grelha suficientemente negativos, a válvula de gás ou vapor tem control absolutamente semelhante a uma válvula de vácuo. Com efeito, a característica mútua ou transcaracterística pode ser percorrida nos dois sentidos até o ponto correspondente à ignição do arco de descarga, isto é, até esse ponto o control feito pela grelha é contínuo e reversível.

Vê-se na fig. 7 que a única diferença entre a válvula de vácuo e de vapor, apresenta-se na curvatura da parte inferior da característica.

No caso do rectificador de arco a curvatura é um pouco maior devido à presença do gás ou vapor.

Mas, a partir de certo valor da tensão de grelha, chamado «potencial crítico», estabelece-se o arco, e a partir desse ponto a corrente entre o catódio e o anódio já não é uma simples corrente de electrões, mas um movimento combinado de electrões e de iões positivos. Verifica-se uma desconti-



a — válvula de vácuo b — válvula de vapor

Fig. 7

nuidade na característica acompanhada por um aumento de corrente, limitada ùnicamente pela resistência do circuito externo, pois a resistência do caminho de descarga é pràticamente nula.

A característica essencial duma descarga por arco é a sua descontinuidade e irreversibilidade.

Uma vez que o arco se estabelece já não podemos por modificação da tensão de grelha fazer variar a corrente anódica dum modo contínuo. — Temos aquilo a que se chama o «sistema tudo ou nada».

A corrente de descarga é formada por electrões e iões que chegam à grelha em quantidades aproximadamente iguais, de modo que, se um forte potencial negativo é de novo aplicado à grelha de control a deminuição de corrente devido à repulsão dos electrões é compensada pelo aumento de corrente devido à atracção dos iões positivos. Sendo o resultado total nulo, a grelha não tem influência durante a descarga.

A relação entre o potencial crítico da grelha e a tensão da placa é nos dada pelas «características de ignição» que se consideram divididas em dois tipos — positivo e negativo. O primeiro grupo contém as válvulas que trabalham com grelhas positivas

sobre toda ou sobre parte da curva de control, necessitando de grandes correntes de grelha; o segundo grupo contém as válvu-

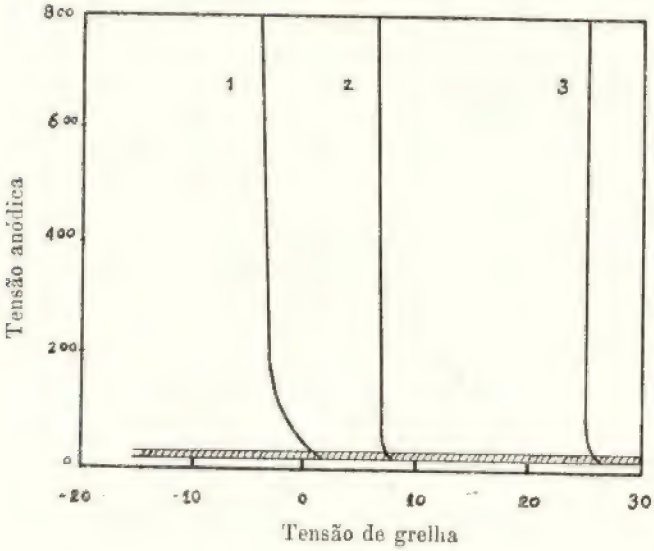


Fig. 8

las que trabalham com grelhas negativas. Chamam-se vulgarmente «tiratrões» (thyratrons) aos triódios de gás. No caso estudado, a célula rectificadora difere do tiratrão em virtude do arco ser inicialmente provocado por eléctrodo de excitação — ignitor — e por isso toma o nome particular de «ignitrão» (ignitron). É claro que a interpretação dos fenómenos eléctricos quer no tiratrão quer no ignitrão é totalmente a mesma.

A fig. 8 apresenta características de ignição para vários tipos de descarga por arco:

Curvas:

1 — rectificador de vidro com braços curtos
2 — rectificador de vidro com braços longos
3 — rectificador de tina metálica (grande comprimento de arco).

A partir da «característica de ignição» e conhecida a forma da curva da tensão aplicada à placa, pode traçar-se por construção geométrica fácil a «característica de control da grelha» (grid-control locus).

Temos no caso geral o traçado efectuado na fig. 9 em que se considera a tensão de placa sinusoidal pura.

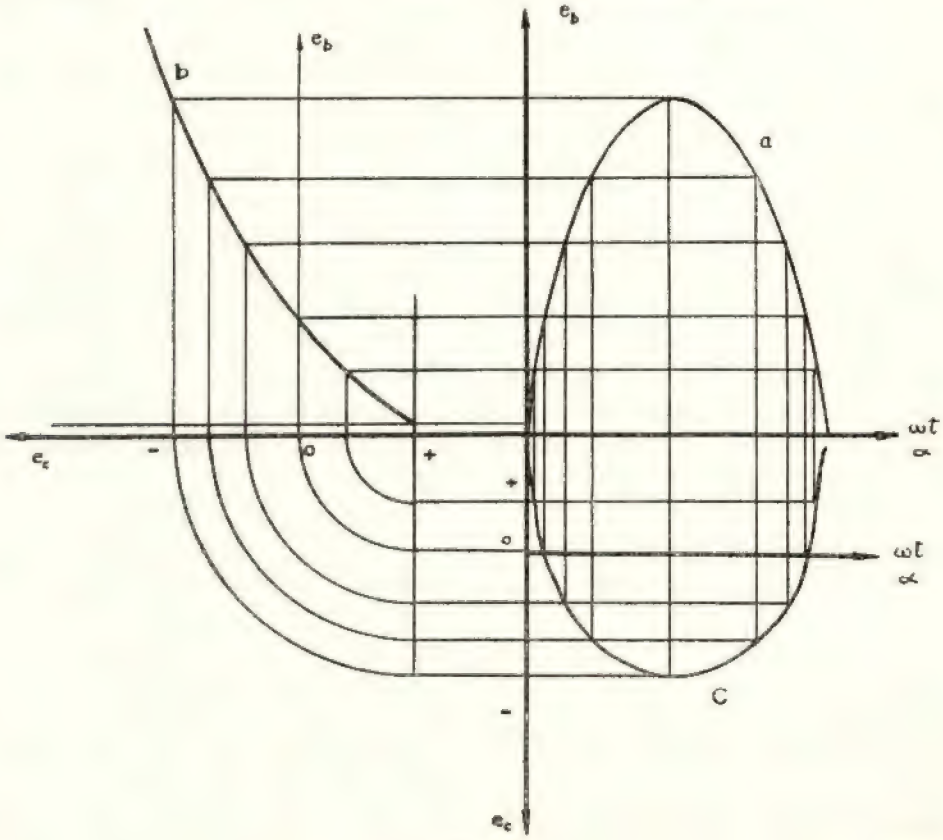


Fig. 9

Curvas:

a — tensão de placa $e_b = f(\omega t)$
b — característica de ignição $e_b = f(e_c)$
c — característica de control $e_c = f(\omega t)$

No caso particular estudado (rectificador de tina metálica blindada) a característica de ignição (b) é pràticamente uma recta paralela ao eixo das ordenadas (eixo da tensão anódica) e portanto a característica de control (c) também será uma recta chamada «linha de ignição» — $e_c \simeq$ constante («tensão crítica de ignição»).

O princípio geral em que se fundam todos os sistemas de control por grelhas polarizadas pode então enunciar-se:

«o instante no ciclo de tensão de placa para o qual se estabelece o arco corresponde ao ponto de intersecção da curva da tensão

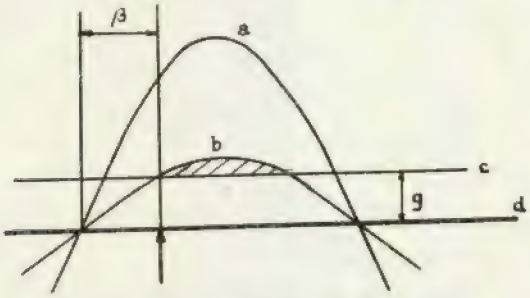


Fig. 10

a — tensão anódica
b — tensão de grelha
c — limite de ignição
d — potencial catódico
β — ângulo de ignição
g — tensão crítica de ignição

de excitação de grelha com a linha de ignição».

Define-se «ângulo de ignição» β como o ângulo de atraso do estabelecimento do arco dentro do ciclo da tensão de placa.

Variação do valor médio da tensão rectificada em função do ângulo de ignição:

Calculámos atrás o valor médio da tensão rectificada no caso dum sistema de n fases em que E_{ef} representava o valor eficaz da tensão alternada sinusoidal por fase.

Obtivemos no caso de rectificação por diódio $E_{ov} = \frac{n}{\pi} E_{ef} \sqrt{2} \text{ sen } \frac{\pi}{n}$ (2), desprezando os efeitos de reactância do transformador e de queda de tensão no arco.

Agora, na rectificação por triódio vamos obter variações de E_o a partir de variações no ângulo de ignição β.

Consideremos na fig. 11 a tensão e_1 relativa à placa 1. Em virtude de ter havido um atraso à ignição correspondente ao angulo β, a corrente flue não entre P e Q mas entre R e S, e portanto temos que calcular o valor médio de *e* entre os limites $\left(\beta - \frac{\pi}{n}\right)$ e $\left(\beta + \frac{\pi}{n}\right)$.

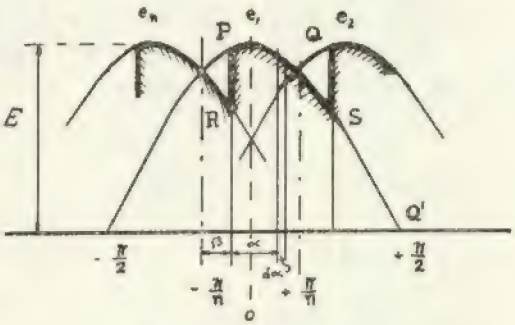


Fig. 11

A tensão *e* é expressa neste intervalo por

$$e = E \cos \alpha = E_{ef} \sqrt{2} \cos \alpha$$

e logo

$$E_o = \frac{n}{2\pi} \int_{\left(\beta - \frac{\pi}{n}\right)}^{\left(\beta + \frac{\pi}{n}\right)} E_{ef} \sqrt{2} \cos \alpha \, d\alpha$$

$$= \frac{n E_{ef} \sqrt{2}}{2\pi} \Big[\text{sen } \alpha \Big]_{\left(\beta - \frac{\pi}{n}\right)}^{\left(\beta + \frac{\pi}{n}\right)} =$$

$$= \frac{n E_{ef} \sqrt{2}}{2\pi} \times 2 \cos \beta \text{ sen } \frac{\pi}{n}$$

$$E_o = \frac{n}{\pi} E_{ef} \sqrt{2} \text{ sen } \frac{\pi}{n} \cos \beta$$

Comparando com a fórmula (2), temos

$$\boxed{E_o = E_{o_v} \cos \beta} \quad (11)$$

Deve notar-se que a fórmula deduzida só é na realidade válida enquanto S se desloca desde o ponto Q até Q'.

Com efeito, calcula-se o valor médio de tensão e no intervalo $\frac{T}{n}$. Ao deslocar P para R do ângulo β, desloca-se igualmente Q para S do mesmo ângulo de tal modo que o intervalo de tempo que medeia entre P e Q, será o mesmo que medeia entre R e S.

Mas, a partir de certo valor de β, a que podemos chamar βm, o ponto S, que se desloca sobre a curva de equação $e = E \cos \alpha$, passa a ter uma ordenada negativa, o que representa um absurdo dadas as admitidas condições unidireccionais da corrente de descarga por arco.

Portanto, a partir de certo valor de $\beta = \beta m$ não podemos empregar a fórmula deduzida, servindo-nos de outra.

$$E_o = \frac{n}{2\pi} \int_{\left(\beta - \frac{\pi}{n}\right)}^{+\frac{\pi}{2}} E_{ef} \sqrt{2} \cos \alpha \, d\alpha$$

$$= \frac{n E_{ef} \sqrt{2}}{2\pi} \left[\operatorname{sen} \alpha \right]_{\left(\beta - \frac{\pi}{n}\right)}^{\frac{\pi}{2}}$$

$$\boxed{E_o = \frac{n}{2\pi} E_{ef} \sqrt{2} \left[1 - \operatorname{sen} \left(\beta - \frac{\pi}{n} \right) \right]} \quad (12)$$

No caso particular para $n = 6$

temos

$$\beta_m = \frac{\pi}{3}$$

e logo

$$E_o = \frac{6}{\pi} E_{ef} \sqrt{2} \operatorname{sen} \frac{\pi}{6} \cos \beta$$

(11)

$$\text{para } \beta < \frac{\pi}{3} \quad ;$$

$$E_o = \frac{6}{2\pi} E_{ef} \sqrt{2} \left[1 - \operatorname{sen} \left(\beta - \frac{\pi}{6} \right) \right]$$

(12)

$$\text{para } \beta > \frac{\pi}{3} \quad ;$$

$$E_o = 1{,}35 \, E_{ef} \cos \beta = E_{o_v} \cos \beta$$

(11)

$$\beta < \frac{\pi}{3} \quad ;$$

$$E_o = 1{,}35 \, E_{ef} \left[1 - \operatorname{sen} \left(\beta - \frac{\pi}{6} \right) \right] =$$

(12)

$$= E_{o_v} \left[1 - \operatorname{sen} \left(\beta - \frac{\pi}{6} \right) \right]$$

$$\beta > \frac{\pi}{3} \quad .$$

QUADRO DE VALORES

β	E_o	E_o %
0	1,000 E_{ov}	100 %
$\frac{1}{6}\pi$	0,866	86,6
$\frac{1}{3}\pi$	0,500	50,0
$\frac{1}{2}\pi$	0,134	13,4
$\frac{2}{3}\pi$	0,000	0

— *Sistemas de comando de grelhas*

a) *Sistema de variação de desfasagem*

Varia-se a fase da tensão de grelha em relação à tensão anódica, o que arrasta uma variação do ângulo de ignição e portanto do valor da tensão rectificada (fig. 12).

b) *Sistema de variação de positivação*

Varia-se a tensão contínua de excitação de grelha, o que leva igualmente a uma variação do ângulo de ignição.

Tudo se passa como se déssemos uma translação paralelamente ao eixo das abcissas, à curva representativa da tensão de grelha, variando portanto a posição do ponto do funcionamento (fig. 13).

c) *Sistema de comando por impulsos*

Os dois sistemas acima indicados não permitem determinar com exactidão o ponto

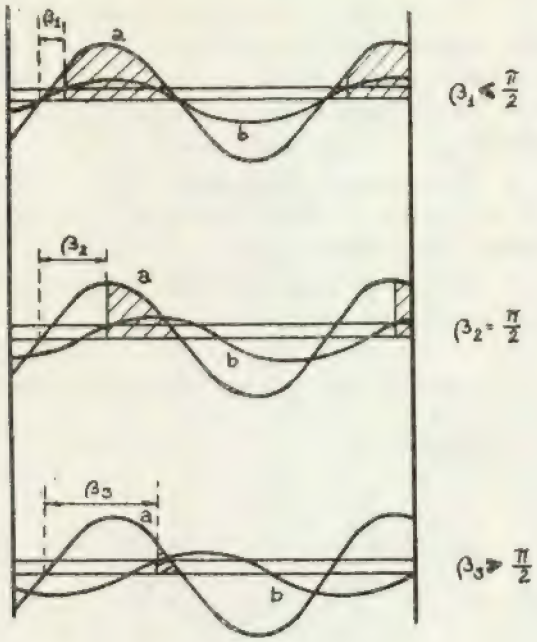


Fig. 12

de funcionamento, isto é, o instante em que se dá a descarga.

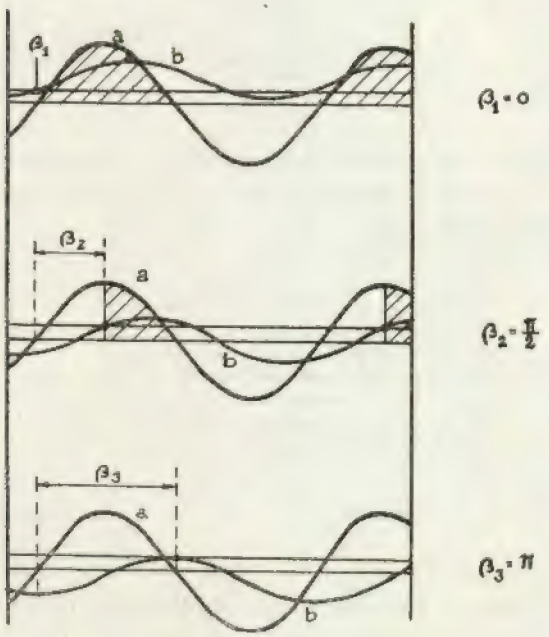


Fig. 13

Isto resulta do facto da tensão crítica de ignição não ser constante variando consideràvelmente com as alterações de carga e com as condições de temperatura dentro do rectificador. E, deslocando-se para baixo e para cima a linha de ignição é claro que o

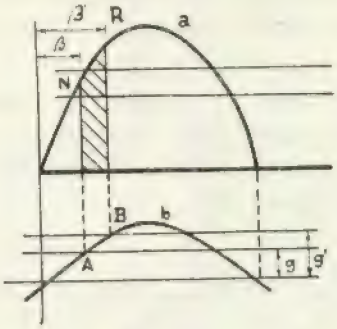


Fig. 14

g — tensão crítica de ignição em plena carga
g' — tensão crítica de ignição em carga reduzida

ponto de funcionamento vai mudar de posição (fig. 14).

Ora, é da máxima importância que o instante no ciclo de tensão de placa para o qual o arco se estabelece seja bem definido. No sistema de control por impulsos consegue-se isso do seguinte modo: mantém-se a grelha normalmente a um potencial negativo e num dado instante aplica-se instantâneamente um pòtencial positivo. Temos então um impulso.

Na fig. 15 observa-se que os sistemas de control por impulso não podem ser susceptíveis ao erro que acima se descreve.

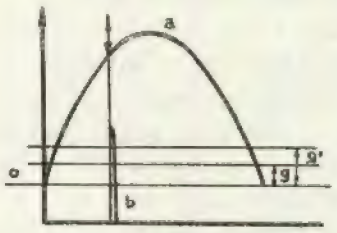


Fig. 15

Com efeito, a curva da tensão de excitação da grelha intersecta a linha de ignição pràticamente segundo um ângulo recto de tal modo que qualquer variação na tensão crítica não tem efeito sensível no ângulo de ignição.

A variação de tensão no rectificador faz-se então por alteração de desfasagem

entre os impulsos de potencial e as correspondentes tensões de placa.

Há vários sistemas de control por impulso. Pode utilizar-se uma fonte de corrente contínua juntamente com um sistema divisor de tensão e um distribuidor síncrono; um gerador especial de impulsos — pequeno alternador que dá tensão polifásica com forma de picos; transformadores especiais saturados com circuito magnético de alta permeabilidade, etc.

Comparação entre sistemas hexafásicos em ligação simples e bifurcada

Como adiante veremos, o transformador tri-hexafásico T de alimentação anódica apresenta uma ligação bifurcada ou em tripla estrela. Esta ligação especial é grandemente vantajosa sob o ponto de vista de redução de perdas, em relação à ligação normal de estrela de seis raios.

Ao fazer o estudo comparativo, adopta-se a seguinte nomenclatura:

I_o — valor da intensidade da corrente contínua dada pelo rectificador (valor médio da corrente)
I_{ef} — valor eficaz da corrente anódica
I'_{2ef} — valor eficaz da corrente no secundário (enrolamento exterior)
I''_{2ef} — valor eficaz da corrente no secundário (enrolamento interior)
I_{1ef} — valor eficaz da corrente no primário
E_o — valor da tensão contínua dada pelo rectificador (valor médio da tensão)
E_{ef} — valor eficaz da tensão anódica
E'_{2ef} — valor eficaz da tensão no secundário (enrolamento exterior)
E''_{2ef} — valor eficaz da tensão no secundário (enrolamento interior)
E_{1ef} — valor eficaz da tensão no primário (por fase)
P_1 — perdas óhmicas no primário
P_2 — perdas óhmicas no secundário
$P_o = E_o I_o$ — kW de entrada no rectificador
$U = \frac{P_o}{P}$ — factor de utilização do transformador do rectificador
$P = \frac{P_1 + P_2}{2}$

Fazem-se as seguintes hipóteses:

a) Supõe-se a tensão de alimentação alternada sinusoidal em qualquer condição de carga do rectificador;

b) Considera-se que, à saída do rectificador, temos corrente contínua pura e logo correntes anódicas de forma rectangular.

c) Desprezam-se os efeitos de reactância e dispersão do transformador.

d) Na tensão de saída depreza-se a influência da queda de tensão no arco e nas resistências do transformador.

e) Despreza-se a corrente magnetizante do transformador.

Sistema hexafásico em estrela simples

Esquema

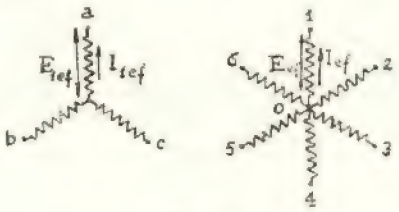


Fig. 16

1 — Tensão anódica

$$E_{ef} = \frac{\pi}{6\sqrt{2}} \frac{E_o}{\operatorname{sen} \frac{\pi}{6}} = 0{,}740\ E_o$$

2 — Correntes anódica Ief e primária I_{1ef}

Temos a distribuição de correntes indicada na fig. 17.

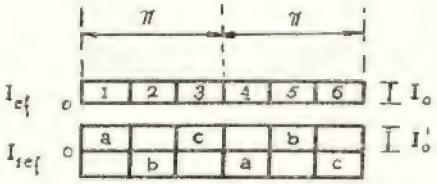


Fig. 17

Os amperes espiras primários são iguais e opostos aos amperes espiras secundários.

Supondo que o fluxo primário é igual e oposto ao fluxo secundário

$$E_{ef}\, I_o = E_{1ef}\, I'_o \text{ e logo } I'_o = I_o \frac{E_{ef}}{E_{1ef}}$$

Teremos

(1)
$$I^2_{ef} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} I_o^2 \, d\alpha = \frac{1}{6} I_o^2$$

(1)
$$I_{ef} = \frac{I_o}{\sqrt{6}} = 0{,}408 \, I_o$$

(a)
$$I_1{}^2_{ef} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\frac{\pi}{3}} I_o'^2 \, d\alpha + \right.$$

$$\left. + \int_{\pi}^{\frac{4}{3}\pi} I_o'^2 \, d\alpha \right] = \frac{1}{3} I_o'^2$$

$$I_{1ef} = \frac{I'_o}{\sqrt{3}} = 0{,}577 \, I_o' = 0{,}577 \, I_o \frac{E_{ef}}{E_{1ef}}$$

3 — Perdas óhmicas no primário.

$$P_1 = 3 \, E_{1ef} \, I_{1ef} = 3 \, E_{1ef} \times 0{,}577 \, I_o \frac{E_{ef}}{E_{1ef}} =$$

$$= 3 \times 0{,}577 \, I_o \times 0{,}740 \, E_o$$

$$P_1 = 1{,}280 \, P_o$$

4 — Perdas óhmicas no secundário

$$P_2 = 6 \, E_{ef} \, I_{ef} = 6 \times 0{,}740 \, E_o \times 0{,}408 \, I_o$$

$$P_2 = 1{,}815 \, P_o$$

Sistema hexafásico em tripla-estrela

Esquema

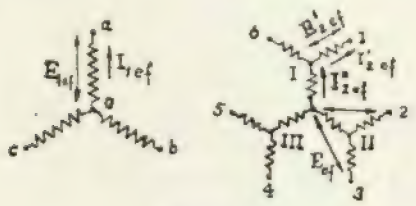


Fig. 18

1 — Tensão anódica

$$E_{ef} = \frac{\pi}{6\sqrt{2} \, \text{sen} \frac{\pi}{6}} \frac{E_o}{} = 0{,}740 \, E_o$$

$$E'_{2ef} = E''_{2ef} = \frac{E_{ef}}{\sqrt{3}}$$

2 — Correntes I'_{2ef} I''_{2ef} I_{1ef}

Temos a distribuição de correntes indicada na fig. 19.

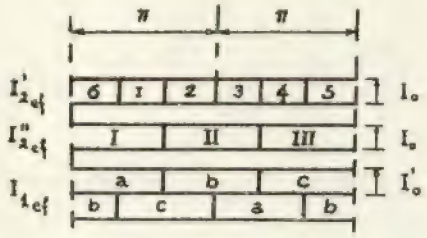


Fig. 19

Cada enrolamento interior do secundário fornece dois anódios sucessivos por ciclo de tensão e por isso ao calcular o valor eficaz I''_{2ef} referimo-nos ao intervalo $\frac{2}{3}\pi$ e não a $\frac{1}{3}\pi$.

Da oposição entre amperes espiras primários e secundários resulta agora

$$E'_{2ef} \, I_o = E''_{2ef} \, I_o = E_{1ef} \, I'_o$$

$$\frac{E_{ef}}{\sqrt{3}} I_o = E_{1ef} \, I'_o$$

$$I'_o = \frac{1}{\sqrt{3}} I_o \frac{E_{ef}}{E_{1ef}}$$

Teremos

(1)
$$I'^2_{2ef} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2}{3}\pi} I_o^2 \, d\alpha = \frac{1}{6} I_o^2$$

(1)
$$I'_{2ef} = \frac{I_o}{\sqrt{6}} = 0{,}408 \, I_o$$

(III)
$$I''^2_{2ef} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{4}{3}\pi}^{2\pi} I_o^2 \, d\alpha = \frac{1}{3} I_o^2$$

(III) $$I''_{2\,ef} = \frac{I_o}{\sqrt{3}} = 0{,}577\ I_o$$

(c) $$I^2_{1\,ef} = \frac{1}{2\pi}\left[\int_{\frac{\pi}{3}}^{\pi} I'^2_o\, d\alpha + \int_{\frac{4}{3}\pi}^{2\pi} I'^2_o\, d\alpha\right] =$$

$$= \frac{2}{3}\, I'^2_o$$

(c) $$I_{1\,ef} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I'_o = 0{,}816\ I'_o = 0{,}471\ I_o\ \frac{E_{ef}}{E_{1\,ef}}$$

3.º — Perdas óhmicas no primário

$$P_1 = 3\ E_{1\,ef}\ I_{1\,ef} = 3\ E_{1\,ef} \times 0{,}471\ I_o\ \frac{E_{ef}}{E_{1\,ef}} =$$

$$= 3 \times 0{,}471\ I_o \times 0{,}740\ E_o$$

$$P_1 = 1{,}050\ P_o$$

4 — Perdas óhmicas no secundário

$$P_2 = 6\ E'_{2ef}\ I'_{2ef} + 3\ E''_{2ef}\ I''_{2ef} =$$

$$= \frac{3\ E_{ef}}{\sqrt{3}}\left(2\ I'_{2ef} + I''_{2ef}\right) = \frac{3}{\sqrt{3}} \times 0{,}740\ E_o \times$$

$$\times\ (2 \times 0{,}408 + 0{,}577)\ I_o$$

$$P_2 = 1{,}790\ P_o$$

QUADRO DE VALORES

	Estrela simples	Tripla estrela
E_{ef}	$0{,}740\ E_o$	$0{,}740\ E_o$
I_{ef}	$0{,}408\ I_o$	—
I'_{2ef}	—	$0{,}408\ I_o$
I''_{2ef}	—	$0{,}577\ I_o$
I_{1ef}	$0{,}577\ I_o \frac{E_{ef}}{E_{1ef}}$	$0{,}471\ I_o \frac{E_{ef}}{E_{1ef}}$
P_1	$1{,}280\ P_o$	$1{,}050\ P_o$
P_2	$1{,}815\ P_o$	$1{,}790\ P_o$
$P = \frac{P_1 + P_2}{2}$	$1{,}548\ P_o$	$1{,}420\ P_o$
$U = \frac{P_o}{P}$	0,647	0,705

Da comparação dos resultados obtidos nos dois casos, se conclui que a ligação bifurcada apresenta a vantagem sobre a ligação simples, de deminuição de perdas quer nos enrolamentos primários quer nos secundários. Daqui resulta que o factor de utilização no caso da tripla estrela é sensìvelmente superior ao da estrela simples.

(Continua)

ACABA DE APARECER:

TOPOGRAFIA GERAL

PELO ENG.º CARVALHO XEREZ

Terminaram a parte escolar do seu curso no ano lectivo 1945-1946, os nossos colegas:

ENGENHARIA CIVIL

Eduardo Henrique Cansado de Carvalho
Mário Pessoa Jorge
José Neves Conceição Teixeira
José Miguel Simões Raposo
Carlos Frazão Sardinha e Eurico Pires Carrondo Tomé
Gastão Ricou
Manuel Simões
Luís Maria Ferreira de Castro
José Manuel Sande Freitas e Álvaro de Bulhão Pato Maia Rebelo
Fernando Vasconcelos Claro da Fonseca
Armando Martins Contreiras, Augusto José Martins e Bento Viegas Louro
Nuno Hugo Lopes Alves e Pedro Teixeira Duarte
Gonçalo de Aguiar Vasconcelos Cabal, Augusto Cesar de Brito, Felipe Maia Marcelino e Mário Alberto Moura Figueiredo
Adolfo Botelho Borges Ferreira
Francisco Duarte Ribeiro, Mário Aguilar Antunes e Jordão Vieira Dias
Charles Maurice Reynaud e António Oliveira Ruival
Fernando da Veiga Frade
Carlos Alberto Blanc Morais
João Gomes Barroso, José Brigham da Silva, José Guimarães Serodio e Jerónimo de Miranda Monteiro Amaral
Joaquim Moreira Carneiro e Paulo de Morais Jalles
Humberto Fernando Rodrigues e Nuno Maria de Lancastre
António José de Carvalho Escarameia
Augusto José Supico
Pedro Maggiorani Apleton

ENGENHARIA DE MINAS

António Cláudio do Reis
Décio Santos Tadeu
João Pacheco Arruda
João José Barata Galvão
Luís da Silva Matos

ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

José Pais Gromicho
Carlos Barradas Ribeiro da Silva
António Carneiro Bustorff Silva
Alírio Augusto Palmeiro e António Simões de Abreu
Virgílio de Melo Azevedo
João de Matos Ferreira
Augusto Sette Pimenta
Manuel Rodrigues Neto e Orlando Firmino Ferreira
António Cruz Alves Braga
Manuel Ribeiro Delgado e Rui Fialho de Sá Pereira
Bryan de Avelar e Gaetano Bonucci

ENGENHARIA MECANICA

Alfredo Nobre da Costa
Henrique Andresen de Bryon
José Saraiva Cabral e José de Sousa Monteiro
António Alves Pereira Salgado
António Duarte Silva e António Nunes de Almeida Souto
Carlos Pedroso Barreiros

ENGENHARIA QUÍMICO-INDUSTRIAL

Henrique Marques Pereira
Martinho Edmundo de Morais
Artur Del Negro Fernandes
José António Janz
Sidónio Martins Geada
António Grilo Peres Gomes
António Castro Silva Carvalho
José de Castro Melo dos Santos
António Monteiro de Andrade e Sousa e Manuel Sequeira Lopes
António dos Santos Borges
José Pais de Almeida e Silva

ALUNOS PREMIADOS NO ANO LECTIVO DE 1945-1946

PRÉMIOS

«Dr. Mira Fernandes»

Destinado ao aluno mais classificado nas cadeiras de Cálculo Diferencial, Integral e das Variações e Mecânica Racional: — Aluno n.º 1665, *Henrique Augusto Barbosa Estácio Marques.*

«Francisco da Fonseca Benevides»

Destinado ao aluno mais classificado na cadeira de Física Experimental (1.ª e 2.ª partes): — Aluno n.º 1703, *Fernando Augusto Soeiro.*

«Tomaz Bordalo Pinheiro»

Destinado aos três primeiros classificados na cadeira de Desenho Técnico (1.ª e 2.ª partes).

Não foi conferido.

«Saraiva de Carvalho»

Destinado ao aluno mais classificado na cadeira de Pesquiza e Exploração de Minas: — Aluno n.º 1061, *Décio Sequeira Santos Tadeu.*

Destinado ao aluno mais classificado no último ano do curso de Engenharia Electrotécnica: — Aluno n.º 972, *Carlos Barradas Ribeiro da Silva.*

«Bandeira de Melo»

Destinado ao aluno mais classificado em qualquer dos cursos de:

Engenharia de Minas: — Aluno n.º 1288, *António Cláudio dos Reis.*

Engenharia Electrotécnica: — Aluno n.º 1314, *José Nicolau Pais Gromicho.*

Engenharia Mecânica: — Aluno n.º 1253, *Alfredo Jorge Nobre da Costa.*

Engenharia Químico-Industrial: — Aluno n.º 1214, *Henrique João Luís Marques Pereira.*

«Dr. Mário Bastos Wagner»

Destinado ao aluno mais classificado na especialidade de Engenharia Químico-Industrial: — Aluno n.º 1214, *Henrique João Luís Marques Pereira.*

«Dr. Brito Camacho»

Destinado ao aluno que concluir com maior classificação qualquer dos cursos professados neste Instituto: — Aluno n.º 1213, *Eduardo Henrique Cansado de Carvalho.*

ACABA DE APARECER:

TOPOGRAFIA GERAL

PELO ENG.º CARVALHO XEREZ

TECNICA
298

BIBLIOTECA

Pedimos a todos os sócios da Associação, que possuem, requisitados, livros da nossa Biblioteca, o favor de os entregar o mais ràpidamente possível.

Depende da satisfação deste pedido, a reorganização mais rápida dos serviços da Biblioteca.

LIVROS

Todos os livros aqui indicados, são pertença da Biblioteca da A. E. I. S. T. e podem ser consultados a partir desta data.

423-B

Anais da Faculdade de Farmácia do Porto

Sob a direcção do Prof. A. DE ALBUQUERQUE

Faculdade de Farmácia do Porto

3-947 — págs. 1/170

C. D. 626.88

Normas de tornillos, tuercas y acessorios

Cuaderno 5

Editorial Balzola — Bilbao

REVISTAS

	C. D.	
Aeroplane (The) . . . . . n.os 1862, 1863.	629.13	Inglaterra
Agronomia Lusitana . . . . . n.os 3-4.	631	Portugal
Anais do Club Militar Naval . . . . . n.os 9-10.	623	Portugal
Arbor . . . . . n.os 17-18.	1:2:3:7:8	Espanha
Arquitectura Portuguesa . . . . . n.º 139.	72	Portugal
Bulletin du Congres des Chemins de Fer . . . . . n.º 9.	625	Bélgica
Bulletin Oerlinkon . . . . . n.os 258-259.	621.3	Suíça
Brotéria . . . . . fasc. 2.	1:2:3:7:8	Portugal
Cemento. . . . . n.º 155.	666.98	Espanha
Ciencia y Tecnica . . . . . n.º 535.	62/69	Argentina
Civil Engineering . . . . . n.º 487.	62/69	Inglaterra
Chronique des mines coloniales (La) . . . . . n.os 125-126.	622	França
Dyna . . . . . n.º 1.	62/69	Espanha
Gazeta dos Caminhos de Ferro . . . . . n.os 1420, 1421, 1422.	385	Portugal
Gazeta de Física . . . . . fasc. 1-2.	53	Portugal

	C. D.	
Indústria Portuguesa . . . . . n.º 225.	62/69	Portugal
Informaciones Iram. . . . . n.ºs 11-12.	389:6	Argentina
Ingenieria (La) . . . . . n.º 864.	62	Argentina
Ingeniero (El) . . . . . n.ºs 72-77.	62	Argentina
Instituto (O) . . . . . vol. 108.º		Portugal
Ossature Metalique . . . . . n.º 2.	624.014	Bélgica
Revista de Artilharia . . . . . n.º 260.	623	Portugal
Revista do Club de Engenharia . . . . . n.º 124 (1946).	62	Brasil
Revista das Obras Publicas . . . . . n.ºs 2782-2783.	624/628	Espanha
Revista da Ordem dos Engenheiros . . . . . n.ºs 36-37.	62	Portugal
Revue Brown Boveri . . . . . n.ºs 4, 5, 6, 7.	621.3	Suíça
Seara Nova . . . . . n.ºs 1020-1021.	3:7:81 (07)	Portugal
Suissa Tecnica . . . . . n.º 3.	62/69	Suíça

FICHEIRO

Sob esta rubrica, figuram só, as fichas dos artigos que nos mereceram maior atenção e estão contidos nas revistas recebidas nesta biblioteca.

Esperamos muito em breve, poder pôr à disposição dos nossos leitores os serviços do ficheiro respeitante às revistas que possuímos.

Normalização

C. D. 389.6

El aluminio y la normalizacion — *Lebouteux, M. H.*

Informaciones. Iram, 9-946, vol. x, n.º 9, págs. 315/317.

Generalidades.
Producto en bruto.
Productos terminados.
Simbolización.
Composicion quimica.
Modo de elaboración.
Tratamento térmico — Tratamento mecânico.

Traduzido da Revista «Courrier de la Normalisation», n.º 65, Paris.

C. D. 389.6

La normalisation des boulous écrous et rivets en Belgique — *Ed. Drugmant.*

L'Ossature Metallique, 2-947, pág. 77/80.

C. D. 389.6

La normalizacion y los aleaciones de Magnesio — De «Courrier de la Normalisation», n.º 65 — Maio-Junho, 1945.

Informaciones Iram, 11-946, n.º 11, págs. 406/408.

C. D. 389.6:620.1

Fundamentos de las normas del ensayo de dureza Brinell — *Manuel Abbad y Berger.*

Tecnica Metalurgica, 12-946, págs. 413/415.

Matemática

C. D. 51:6

O cálculo das probabilidades e as ciências de observação — *Joaquim M. Esparteiro.*

Anais do Club Militar Naval, 9-10-946, n.ºs 9-10, pág. 513.

Física

C D. 53:37

A física teórica no ensino superior da física — *Fernando Soares David.*

Gazeta de Física, 10-946, vol. 1, fasc. 1, págs. 41/43

C. D. 537.531

Historia de los Rayos X — *Carmelo Chueca.*
Dyna, 1-947, n.º 1, págs. 11/17.

Mecânica Racional

C. D. 531.7.081

A propos des unités de mesure de dimensions et des lois de similitude — *L. S. Dzung; A. Meldahl.*
R. Brown Boveri, 6-7-946, n.os 6-7, págs. 123/128.

Engenharia

C. D. 62:530

Ingenieria atomica? — *Theodore von Korman* — (Do «Journal of Engineering Education» — Dez. 1945).
La Ingenieria, 10-946, n.º 864, págs. 709/719.

Electrotecnia

C. D. 621.3

Solucion del rectificador a válvula a alto vacio con un solo condensador de filtro — *Jorge R. Cordero Funes.*
Ciencia y Tecnica, 1-947, vol. 108, n.º 535, págs. 12/32.
Expõe-se a teoria matemática acompanhada de gráficos das principais funções, relativas ao cálculo dum rectificador do tipo indicado com carga não reactiva.
Contém a resolução dum caso prático.
Boa bibliografia sobre o assunto.

C. D. 621.3

Coeficientes de auto induccion de tubos concentricos de seccion cuadrada o circular — *Henry Peter Messinger y T. J. Higgins* — (De «Electrical Engineering»).
Revista de Obras Públicas, 2-947, n.º 2782, págs. 88/90.

C. D. 621.311.21.181.4

Petits centrales hydroelectriques pour entre prises industrielles — *R. Rais.*
R. Oerlinkon, 11-12-946, n.º 250, págs. 1691/1694.

C. D. 621.313.15

Commandes par volant avec moteur asynchrone — *K. E. Müller.*
R. Oerlinkon, 11-12-946, n.º 258, págs. 1658/1691.

C. D. 621.313.3

Machines normales de grande puissance à courant alternatinf — *Ph. Suter.*
R. Brown Boveri, 6-7-946, n.os 6-7, págs. 143/148.

C. D. 621.313.333.025.3

La nouvelle série des moteurs triphasés Brown Boveri — *V. Rusterholz.*
R. Brown Boveri, 4-5-946, n.os 4-5, págs. 97/102.

C. D. 621.314.222.08

Un nouveau transformateur de tension à faible volume d'huile, type borne, pour messures de precision et pour trés hautes tensions — *H. Hartmann.*
R. Brown Boveri, n.os 4-5, págs. 95/97.

C. D. 621.314.224.3
538.114

Sur la theorie de l'aimantation supplementaire alternative — *R. Risch.*
R. Brown Boveri, 6-7-946, n.os 6-7, págs. 129-133.

C. D. 621.316.37.027.3

L'etude des postes interieurs de distribution à haute tension — *F. Tschumri.*
R. Brown Boveri, 4-5-946, n.os 4-5, págs. 83/94.

C. D. 621.316.57.064.25

Le nouveau disjouteur rapide à paible volume d'huile, type V, pour tensions nominales de 10 à 30 KV — *A. Bally.*
R. Oerlinkon, 1-2-949, n.º 259, págs. 1695/1700.

C. D. 621.316.57.064.45

O reengate rápido mediante interruptores rápidos por ar comprimido como meio moderno para proteger as redes de distribuíção — *H. Bossi.*
Suissa Tecnica, 12-946, n.º 2, págs. 39/40.

C. D. 621.317.785

A medição e contagem industrial da energia eléctrica — *B. Bauer.*
Suissa Tecnica, 12-946, n.º 3, págs. 9/19.

C. D. 621.316.537

Une nouvelle série de disjoncteurs pour moteurs, pour courants de 10 a 250 A — *C. Hopferwieser.*
R. Brown Boveri, 4-5-946, n.os 4-5, págs. 102/107.

C. D. 621.317.785.6

O integrador gráfico de valores médios (Maxigrafo) — *Anônimo.*
Suissa Tecnica, 12-946, n.º 3, 20/23.

C. D. 621.337.21

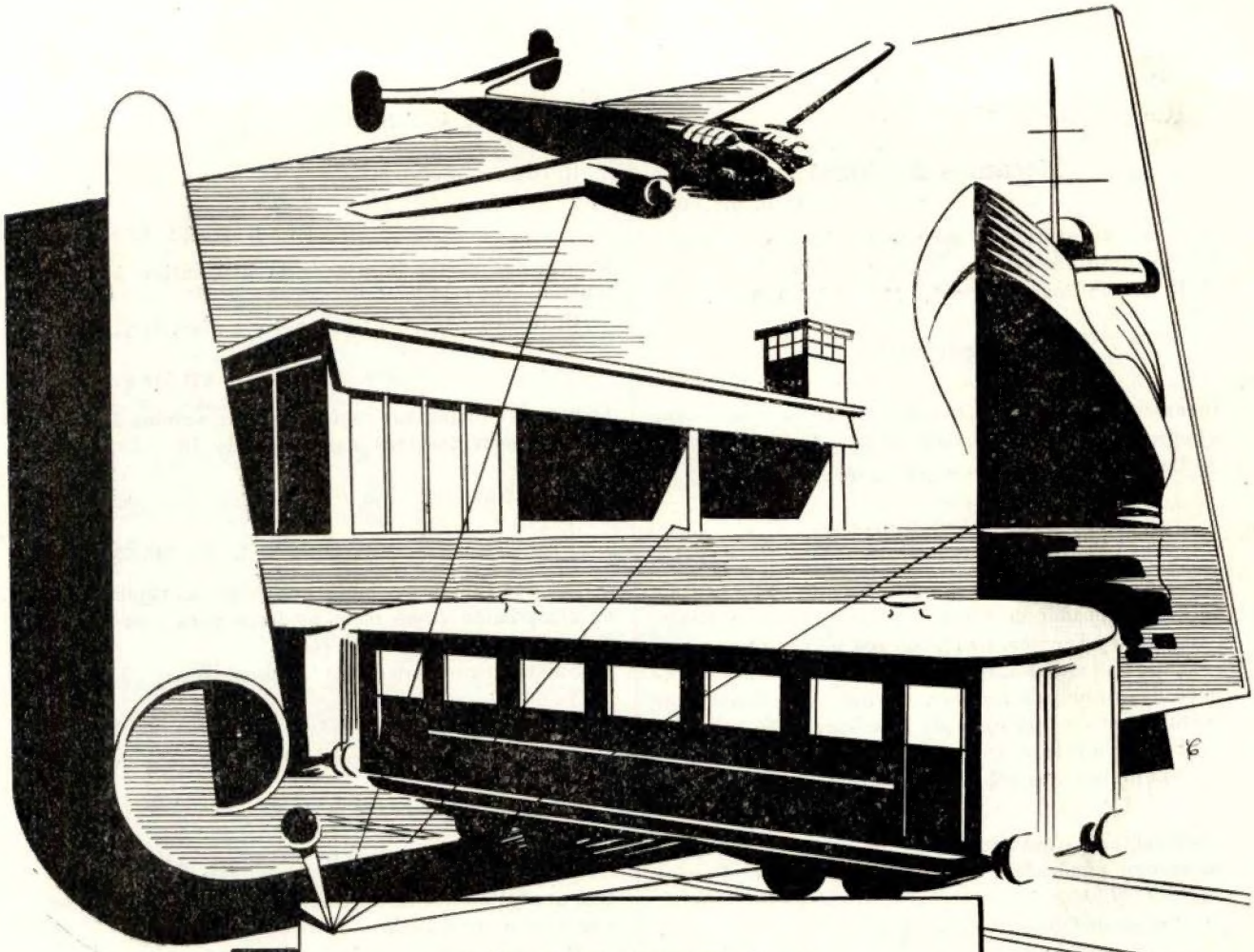
Le nouveau combinateur à echelons multiples pour automotrices à courant continu — *G. L. Glauser.*
R. Oerlinkon, 1-2-946, n.º 259, págs. 1701/1702.

C. D. 621.33 (469)

Algumas sugestões sobre a electrificação ferroviária portuguesa — *José Albino Machado Vaz* — Conferência na Ordem dos Engenheiros, em 17 de Outubro de 1946.
Revista da Ordem dos Engenheiros, 12-946, n.º 36, págs. 722/744.

C. D. 621.36:537

L'evolution du four de chauffage à haute frequence et les lois physiques qui regissent sou fonctionnement — *Ludwig Dreyfus.*
Asea Revue, 1-5-946, n.os 1-3, págs. 3/18.
Fscolha da frequência e modo de produção da energia. Tipos realizados pela Asea. Leis físicas que regem o aquecimeuto a alta frequência. Curvas de arrefecimento e repartição da dureza no interior de peças. Exemplos de cálculos.



MADEIRAS

por excelência especiais para contra-placados próprios para a construção de aviões e infraestruturas, adornos interiores de carruagens de caminhos de ferro, construções navais e mobiliário.

DUARTE & REIS, L.DA

Importadores e Exportadores

telegramas BISSILON

RUA DA PALMA, 40, 2.º
LISBOA

telefone 30179

Motores térmicos

Técnica do frio

621.4

Turbinas de gás, de propulsão por jacto — *R. P. Probert.*
Indústria & Técnica, 1947, n.º 12, págs. 15/20.

621.4

Aros de embolos (segmentos) para motores de explosion y combustion — *Manuel Torrado y Varela.*
Técnica Metalúrgica, 1-947, n.º 16, págs. 16/22.

Variada bibliografia sobre o assunto.

C. D. 621.436.052

La suralimentation dos moteur Diesel à l'aide des turbo-compresseurs Brown Boveri — *R. Stahel.*
R. Brown Boveri, 6-7-946, n.º 67, págs. 152/157.

C. D. 621.436-53
629.12.014

Le porte de manoeuvre des moteurs marius Diesel Sulzer — *Anónimo.*
Revue Sulzer, 1946, n.º 3, págs. 18/26.

C. D. 621.564.25

Proprietés thermodynamiques du chlorure de methyléne (CH_2Cl_2) — *L. S. Dzung.*
R. Brown Boveri, 6-7-946, n.ºs 6-7, págs. 1581.

Boa bibliografia

Oficinas

C. D. 621.78:669.14

Tratamento térmico de los aceros. La curva de la «S». — *Apraiz, Ing. José.*
Informaciones, Iram, 10-949, vol. x, n.º 10, págs. 363/366.

Considerações gerais.
Aplicação industrial do estudo da curva «S». A têmpera do aço em banho quente.

C. D. 621.791:621.36

A solda forte no forno eléctrico — *A. K. Phillippi.*
Engenheiro Wertinghouse, 2-947, n.º 1, págs. 21/27.

C. D. 621.791.735.078

Le nouveau dispositif de sondure automatique Brown Boveri pour sondure a l'arc — *H. Kocher.*
R. Brown Boveri, 4-5-946, n.º 45, págs. 107/411.

C. D. 621.793.795

Reparacion de piezas desgastadas o demasiado maquinadas (metodos que emplean la electro deposicion del niquel) — *Anónimo.*
Dyna, 1-947, n.º 1, págs. 30/34.

Traduzido de «Iron and coal», n.ºs 3998-1944, págs. 545/549.

C. D. 621.7:617

Ventilacion y calefaccion de las naves de talleres (de «Steel», Março, 1946) — *Anónimo.*
Técnica Metalúrgica, 12-946, n.º 15, págs. 442/443.

Transmissão Mecânica

C. D. 621.876:63

Funcionamento de los Elevadores de Granos — *Eng.os civiles Carlos A. Vieira y Próspero Saint Martin, del C. A. I.*
Ingenieria (La), 3-946, n.º 857, págs. 151/165; 4-946, n.º 858, págs. 234/248; 5-946, n.º 859, págs. 349/354.

Os transportadores de grãos são de vital importância para os agricultores, porque, mediante eles, se criaram os mecanismos necessários para melhorar a comercialização da produção agrícola. O presente artigo, completado com 11 fotografias e 13 esquemas, pretende divulgar, sob a forma mais clara possível, como se planeia o funcionamento da unidade tipo de transportador terminal para poder definir o projecto em todos os seus detalhes.

C. D. 621.8.032. (43)

Hydraulic Systems in Germany Aircraft — *M. Hodgson.*
Aircraft Engineering, 12-946, vol. XVIII, n.º 214, págs. 413/416.

Ferramentas

C. D. 621.9

Tools for the Work shops — *Anónimo.*
Aircraft Engineering, 1-947, vol. XIX, n.º 215, págs. 32/33.

C. D. 621.75

Las herramientas de corte con angulo de desprendimiento negativo en el taller — *José Romeu.*
Técnica Metalúrgica, 1-947, n.º 16, págs. 1/14.

Engenharia Civil

624.1

Cálculo de cimentaciones circulares — *António Angulo.*
Revista de Obras Públicas, 5-946, n.º 2774, págs. 257/260.

Oferece-nos o autor um interessante trabalho em que inclui um gráfico de aplicação rápida e fácil que facilita o cálculo das fundações de planta circular, evitando as tentativas, que são sempre massadoras e expostas a erros.

C. D. 624.012.3 (485)

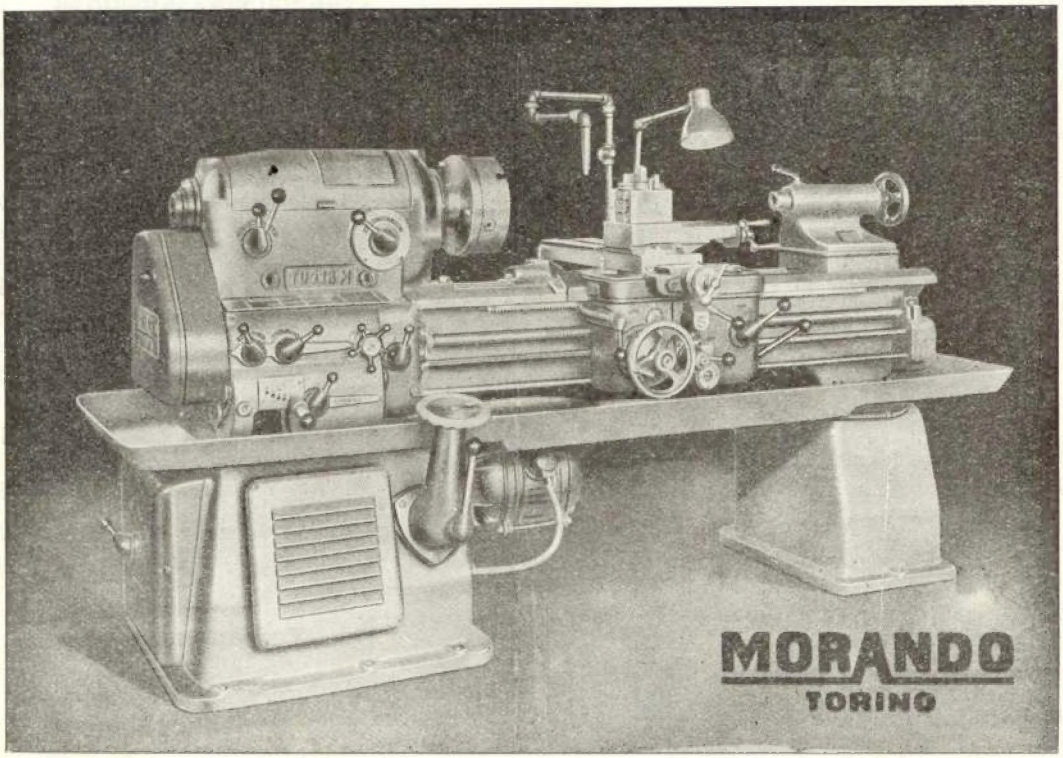
Depósito para nitrato en las fabricas de nitrato sódico de Köping (Suécia) — *Stig Lagerkvanz.*
Cemento-Hormigon, 1946, vol. XII, n.º 148, págs. 189/194.

C. D. 624.012.3
625.7

Tecnica de la construction de pavimentos de hormigon. El problema del agrietamiento — *Gabriel Barceló.*
Cemento-Hormigon, vol. XII, n.º 144, págs. 75/82; n.º 145, págs. 109/114; n.º 146, págs. 134/139.

OFF. MECCANICHE MORANDO — TURIM

TORNOS PARALELOS RÁPIDOS ——— TORNOS SEMI-AUTOMÁTICOS



TORNO TU 218 — M

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS		TU 218 — M —	TU 218 — ML —
Distância entre pontos	mm	1.000	1.500
Altura do ponto sobre o banco	mm	218	218
Furo do mandril	mm	36	36
Diâmetro admissível sobre o banco	mm	436	436
» » » » carro	mm	385	385
Número de rotações do mandril — 16 velocidades.	RPM	20 a 1.020	20 a 1.020
Avanços longitudinais e transversais de 0,037 a 2,72 mm	N.°	52	52
Passos em polegadas, decimais, ou modulares, para cada tipo	N.°	48	48
Potência absorvida	H. P.	5	5
Peso	Kg.	2.300	2.450

REPRESENTANTES:

• TERMO-MECANICA •

LIMITADA

PRAÇA JOSÉ FONTANA, 12-2.° LISBOA